

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-182164

(43)Date of publication of application : 07.07.2005

(51)Int.Cl.

G06T 7/40
 G06T 1/00
 G06T 3/00
 G06T 7/00
 G06T 7/60
 H04N 1/387

(21)Application number : 2003-418272

(71)Applicant : SANYO ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 16.12.2003

(72)Inventor : TSUJITA KOSUKE
 TAKEUCHI SATORU
 KUNHAZAMA AKIMI
 INOUE YASUAKI

(54) IMAGE AREA DETERMINATION METHOD, AND IMAGE AREA DETERMINATION APPARATUS, IMAGE CORRECTION APPARATUS, AND DIGITAL WATERMARK EXTRACTION APPARATUS CAPABLE OF USING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve a problem wherein watermark detection from a picked-up image of a print image embedded with a digital watermark requires high precision extraction of an original image area from the picked-up image.

SOLUTION: An edge detection filter part 42 detects edges of an original image area included in a picked-up image to determine points on the edges as vertex search start points Vs. An edge tracking part 44 tracks the edge lines from the vertex search start points Vs in the directions of vertices of the original image area to determine end points of the edge lines and set them as tentative vertices Ve of the original image area. A Fourier transform processing part 46 applies the Fourier transform processing to the surrounding images of the tentative vertices Ve. A phase angle calculation part 47 calculates phase angles of low frequency components after the Fourier transform. A vertex displacement adjustment part 48 computes the displacements of the tentative vertices Ve from true vertex positions according to the calculated phase angles to determine final detection vertices Vf displacement-adjusted from the tentative vertices Ve. An image area extraction part 41 extracts the original image area from the picked-up image according to the coordinate values of the final detection vertices Vf.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
 examiner's decision of rejection or application converted
 registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
 rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of

rejection]
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-182164

(P2005-182164A)

(43) 公開日 平成17年7月7日(2005.7.7)

(51) Int. Cl.⁷

G06T 7/40
G06T 1/00
G06T 3/00
G06T 7/00
G06T 7/60

F 1

G06T 7/40 B
G06T 1/00 310Z
G06T 1/00 500B
G06T 3/00 200
G06T 7/00 300H

テーマコード (参考)

5B057
5C076
5L096

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 31 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-418272 (P2003-418272)
(22) 出願日 平成15年12月16日 (2003.12.16)

(71) 出願人 000001889
三洋電機株式会社
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(74) 代理人 100105924
弁理士 森下 賢樹
(72) 発明者 辻田 孝介
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内
(72) 発明者 竹内 悟
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内
(72) 発明者 国狭 亜輝臣
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

最終頁に続く

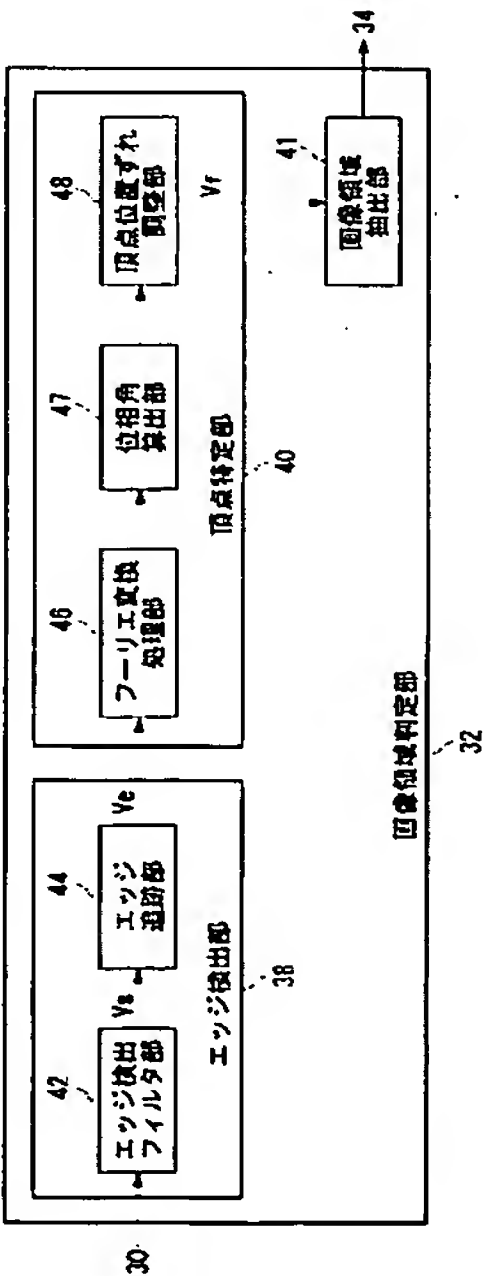
(54) 【発明の名称】 画像領域判定方法、ならびにその方法を利用可能な画像領域判定装置、画像補正装置および電子透かし抽出装置

(57) 【要約】

【課題】 電子透かしの埋め込まれた印刷画像の撮影画像から透かしを検出するためには、撮影画像から原画像領域を高精度で抽出しなければならない。

【解決手段】 エッジ検出フィルタ部42は、撮影画像に含まれる原画像領域のエッジを検出し、エッジ上の点を頂点探索開始点Vsとして求める。エッジ追跡部44は、頂点探索開始点Vsから原画像領域の頂点方向にエッジラインを追跡し、エッジラインの端点を求め、原画像領域の暫定頂点Veとする。フーリエ変換処理部46は、暫定頂点Veの周辺の画像にフーリエ変換処理を施す。位相角算出部47は、フーリエ変換後の低周波数成分の位相角を算出する。頂点位置ずれ調整部48は、算出された位相角にもとづき、真の頂点位置からの暫定頂点Veのずれを求め、暫定頂点Veの位置ずれを調整した最終検出頂点Vfを求める。画像領域抽出部41は、最終検出頂点Vfの座標値をもとに撮影画像から原画像領域を抽出する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得する画像入力部と、
前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部とを含むことを特徴とする画像領域判定装置。

【請求項 2】

前記画像領域判定部は、前記検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角にもとづいて、前記原画像領域のエッジを検出するエッジ検出部を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の画像領域判定装置。

10

【請求項 3】

前記画像領域判定部は、前記検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角にもとづいて、前記原画像領域の頂点の位置を特定する頂点特定部を含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の画像領域判定装置。

【請求項 4】

前記エッジ検出部により検出されたエッジの端点を前記原画像領域の暫定的な頂点として、前記暫定的な頂点付近の検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角にもとづいて、前記暫定的な頂点の位置ずれを調整する頂点特定部を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の画像領域判定装置。

【請求項 5】

20

前記頂点特定部は、前記原画像領域の暫定的な頂点付近の検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角と、前記暫定的な頂点の位置に前記原画像領域の真の頂点があると仮定した場合の参照画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角との差にもとづいて、前記暫定的な頂点の真の位置からのずれを求めることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の画像領域判定装置。

【請求項 6】

原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得する画像入力部と、
前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部と、
判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正する画像補正部とを含むことを特徴とする画像補正装置。

30

【請求項 7】

電子透かしが埋め込まれた原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得する画像入力部と、
前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部と、
判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正する画像補正部と、
補正された前記原画像領域から前記電子透かしを抽出する抽出部とを含むことを特徴とする電子透かし抽出装置。

【請求項 8】

40

原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得するステップと、
前記撮影画像における検査点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定するステップとを含むことを特徴とする画像領域判定方法。

【請求項 9】

前記原画像領域を判定するステップは、前記検査点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の実軸成分が実質的に零である場合に、前記検査点が前記原画像領域のエッジ上にあると判定するエッジ検出ステップを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の画像領域判定方法。

【請求項 10】

50

前記原画像領域を判定するステップは、前記検査点を前記エッジに沿って走査しながら前記エッジ検出ステップを繰り返すことにより、エッジラインを追跡するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 9 に記載の画像領域判定方法。

【請求項 11】

前記原画像領域を判定するステップは、前記原画像領域の暫定的な頂点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角と、前記暫定的な頂点の位置に前記原画像領域の真の頂点があると仮定した場合の参照画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角との差にもとづいて、前記暫定的な頂点の真の位置からのずれを求めるステップを含むことを特徴とする請求項 8 から 10 のいずれかに記載の画像領域判定方法。

10

【請求項 12】

前記原画像領域を判定するステップは、前記エッジラインの追跡により得られる前記エッジラインの端点を前記原画像領域の暫定的な頂点として、前記暫定的な頂点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角と、前記暫定的な頂点の位置に前記原画像領域の真の頂点があると仮定した場合の参照画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角との差にもとづいて、前記暫定的な頂点の真の位置からのずれを求めることを特徴とする請求項 10 に記載の画像領域判定方法。

【請求項 13】

電子透かしが埋め込まれた原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得するステップと、

20

前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定するステップと、

判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正するステップと、

補正された前記原画像領域から前記電子透かしを抽出するステップとをコンピュータに実行させることを特徴とするコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理技術に関し、特に電子透かしの埋め込まれた印刷画像を撮影した画像の原画像領域を判定する画像領域判定方法、ならびにその方法を利用可能な画像領域判定装置、画像補正装置および電子透かし抽出装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

電子透かしが埋め込まれたデジタル画像を印刷媒体に印刷し、印刷された画像をデジタルカメラやスキャナ等で撮影して再度デジタル化して埋め込まれた電子透かしを検出するシステムがある。たとえば、チケットやカードを利用者に発行する際に、発行者や利用者に関する識別情報などを電子透かしとして視覚的に検知できないように画像に埋め込んでチケットやカードに印刷する。チケットやカードの利用時に、その電子透かしを検出することにより、偽造や不正入手などの不正行為を防止することができる。また、複写機やプリンタで画像を印刷する際に、著作権情報や機器の識別番号等を電子透かしとして埋め込んで印刷することにより、著作物、有価証券等の不正コピーを防止することができる。

40

【0003】

一般にデジタルカメラやスキャナを用いて印刷画像を撮影してデジタル化すると、撮影画像には、撮影機器のレンズの形状や焦点距離に依存したレンズ歪みや、撮影時の光軸の傾きに起因する透視歪みが生じ、印刷画像と撮影画像の間で画素のずれが現れる。そのため、印刷画像に埋め込まれた電子透かしを撮影画像から正しく抽出することは困難であり、撮影画像の歪み補正が必要となる。

【0004】

特許文献 1 には、画像の周囲に基準枠を付加して印刷し、基準枠の付加された印刷画像を撮影して、基準枠をもとに撮影画像の画像領域の大きさを算出し、撮影画像の歪みを補

50

正する技術が開示されている。

【特許文献1】特開2003-110846号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

撮影による画像歪みを補正するためには、まず撮影画像に含まれる原画像領域を正確に抽出する必要がある。原画像領域の画像枠をエッジ抽出処理によって抽出するのが一般的であるが、撮影画像には歪みがある上、撮影状況によってはノイズが含まれるため、高精度でエッジを抽出することは難しい。原画像領域を正確に抽出できなかった場合、画像歪みの補正が正しくなされる保証がなくなる。その結果、原画像領域に埋め込まれた電子透

10

【0006】

特許文献1に開示された技術では、電子透かしの埋め込まれた画像を印刷する際に、画像の周囲に基準枠を付加して印刷する必要があり、手間がかかり、印刷画像の見映えも悪くなる。

【0007】

本発明はこうした状況に鑑みてなされたもので、その目的は、印刷画像を撮影した画像において原画像領域を簡易な方法で正確に判定することのできる画像領域判定技術を提供することにある。また、別の目的は、その画像領域判定技術を利用して、撮影による画像歪みを補正することのできる画像補正技術、さらには電子透かしの埋め込まれた印刷画像を撮影した画像から電子透かしを高い精度で検出することのできる電子透かし抽出技術を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のある態様は画像領域判定装置に関する。この装置は、原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得する画像入力部と、前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部とを含む。前記画像領域判定部は、前記検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角にもとづいて、前記原画像領域のエッジを検出するエッジ検出部を含んでもよい。前記画像領域判定部は、前記検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角にもとづいて、前記原画像領域の頂点の位置を特定する頂点特定部を含んでもよい。

30

【0009】

空間周波数領域への変換には、たとえばフーリエ変換を用いることができる。印刷媒体を撮影すると、原画像の印刷領域の周辺の余白部分も合わせて撮影されるため、撮影画像から余白部分を取り除いた原画像領域を抽出することが必要になるが、この構成によれば、空間周波数領域における周波数成分を用いて頂点やエッジなどの原画像領域の特徴点を検出するため、撮影画像に含まれるノイズの影響を受けることなく、撮影領域から原画像領域を高精度で抽出することができる。

【0010】

前記頂点特定部は、前記原画像領域の暫定的な頂点付近の検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角と、前記暫定的な頂点の位置に前記原画像領域の真の頂点があると仮定した場合の参照画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の位相角との差にもとづいて、前記暫定的な頂点の真の位置からのずれを求めてもよい。この暫定的な頂点は、前記エッジ検出部により検出されたエッジの端点であってもよく、何らかの手法でおおまかに求めたものであってもよい。エッジ検出部により検出されるエッジの端点が原画像領域のおおよその頂点の位置を与えるものであっても、頂点特定部はその頂点の位置の精度を改善することができる。

40

【0011】

本発明の別の態様は画像補正装置に関する。この装置は、原画像が印刷された印刷媒体

50

の撮影画像を取得する画像入力部と、前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部と、判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正する画像補正部とを含む。

【0012】

本発明のさらに別の態様は電子透かし抽出装置に関する。この装置は、電子透かしが埋め込まれた原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得する画像入力部と、前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定する画像領域判定部と、判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正する画像補正部と、補正された前記原画像領域から前記電

10

【0013】

本発明のさらに別の態様は画像領域判定方法に関する。この方法は、原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得するステップと、前記撮影画像における検査点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定するステップとを含む。

【0014】

前記原画像領域を判定するステップは、前記検査点付近の画像領域を空間周波数領域に変換した場合の低周波数成分の実軸成分が実質的に零である場合に、前記検査点が前記原画像領域のエッジ上にあると判定するエッジ検出ステップを含んでもよい。「実質的に零である」とは、ノイズの影響を考慮した誤差の範囲で、零に近いことをいう。

20

【0015】

前記原画像領域を判定するステップは、前記検査点を前記エッジに沿って走査しながら前記エッジ検出ステップを繰り返すことにより、エッジラインを追跡するステップをさらに含んでもよい。ここで「エッジに沿って走査」とは、エッジに平行に走査するだけでなく、所定の幅でエッジと垂直な方向への走査も組み合わせて走査することも含める。エッジに沿った走査により、エッジラインの端点に到達すると、その端点が原画像領域の頂点の暫定的な位置を与える。

【0016】

本発明のさらに別の態様はコンピュータプログラムに関する。このプログラムは、電子透かしが埋め込まれた原画像が印刷された印刷媒体の撮影画像を取得するステップと、前記撮影画像における検査画像領域を空間周波数領域に変換した場合の周波数成分の位相にもとづいて、前記撮影画像における原画像領域を判定するステップと、判定された前記原画像領域の撮影による歪みを補正するステップと、補正された前記原画像領域から前記電子透かしを抽出するステップとをコンピュータに実行させる。

30

【0017】

なお、以上の構成要素の任意の組み合わせ、本発明の表現を方法、装置、システム、記録媒体、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

40

【0018】

本発明によれば、印刷画像を撮影した画像において原画像領域を高精度で判定することができる。それにより、撮影による歪みを正確に補正することができ、また、電子透かしの埋め込まれた印刷画像を撮影した画像の場合、原画像領域から電子透かしを高い精度で検出することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明の実施の形態に係る電子透かしシステムは、図1の電子透かし埋め込み装置100と図3の電子透かし抽出装置200とを含み、電子透かし埋め込み装置100によって電子透かしの埋め込まれた印刷画像が生成され、電子透かし抽出装置200によって印刷

50

画像を撮影して、埋め込まれた電子透かしが抽出される。電子透かし埋め込み装置 100 は、たとえば、チケットやカードの発行に用いられ、電子透かし抽出装置 200 は、チケットやカードの偽造を発見するために用いられる。どちらの装置もネットワーク上の端末からアクセスされるサーバとして構成してもよい。

【0020】

図 1 は、実施の形態に係る電子透かし埋め込み装置 100 の構成図である。これらの構成は、ハードウェア的には、任意のコンピュータの CPU、メモリ、その他の LSI で実現でき、ソフトウェア的にはメモリにロードされた画像処理機能および電子透かし埋め込み機能のあるプログラムなどによって実現されるが、ここではそれらの連携によって実現される機能ブロックを描いている。したがって、これらの機能ブロックがハードウェアのみ、ソフトウェアのみ、またはそれらの組み合わせによっていろいろな形で実現できることは、当業者には理解されるところである。

10

【0021】

画像形成部 10 は、入力されたデジタル画像 I を印刷時の解像度に変換する。埋め込み部 12 は、画像形成部 10 によって印刷時の解像度に変換されたデジタル画像 I に透かし情報 X を埋め込む。

【0022】

印刷部 14 は、埋め込み部 12 により透かし情報 X が埋め込まれたデジタル画像 I を紙やカードなどの印刷媒体に印刷し、印刷画像 P を生成する。なお、同図では、印刷部 14 は電子透かし埋め込み装置 100 の構成要素であるが、印刷部 14 を電子透かし埋め込み装置 100 の外部に設け、プリンタによって構成してもよく、その場合は、電子透かし埋め込み装置 100 とプリンタは、周辺機器の接続ケーブルまたはネットワークで接続される。

20

【0023】

図 2 は、出力された印刷画像 P を説明する図である。印刷媒体 24 上に電子透かしの埋め込まれたデジタル画像 I（原画像ともいう）が印刷されており、原画像の印刷された領域 20（以下、単に原画像領域 20 という）の周囲には通常、印刷媒体 24 の余白部分が存在する。

【0024】

図 3 は、実施の形態に係る電子透かし抽出装置 200 の構成図である。これらの構成も、CPU、メモリなどのハードウェア、画像処理機能および電子透かし抽出機能のあるソフトウェアの任意の組み合わせによっていろいろな形で実現することができる。

30

【0025】

撮影部 30 は、電子透かし埋め込み装置 100 により生成された印刷画像 P を撮影し、印刷画像 P をデジタル化する。同図では、撮影部 30 は電子透かし抽出装置 200 の構成要素であるが、撮影部 30 を電子透かし抽出装置 200 の外部に設け、デジタルカメラやスキャナによって構成してもよく、その場合は、電子透かし抽出装置 200 と、デジタルカメラまたはスキャナは、周辺機器の接続ケーブルまたはネットワークで接続される。特にデジタルカメラに無線通信機能がある場合は、デジタルカメラで取り込まれた撮影画像が無線で電子透かし抽出装置 200 に送信される。

40

【0026】

図 4 は、撮影された印刷画像 P を説明する図である。撮影部 30 は、印刷画像 P を撮影するとき、印刷媒体 24 の原画像領域 20 全体を撮影するが、通常、原画像領域 20 の周囲の余白部分も撮影する。すなわち撮影領域 26 は、一般に、印刷媒体 24 上で原画像領域 20 よりも広い範囲である。このように撮影部 30 による撮影画像には、印刷媒体 24 の余白部分も含まれているため、原画像領域 20 の切り出しが必要となる。

【0027】

図 3 の画像領域判定部 32 は、撮影部 30 により取り込まれた撮影画像に含まれる原画像の領域を判定し、図 4 の撮影領域 26 から余白部分を取り除いた原画像領域 20 を抽出する。

50

【0028】

図5は、画像領域判定部32の詳細な構成を説明する図である。エッジ検出部38は、撮影部30により撮影された撮影領域26に含まれる原画像領域20のエッジを検出し、さらにそのエッジを追跡してエッジの端点を取得する。頂点特定部40は、エッジ検出部38が取得したエッジの端点をもとに、原画像領域20の頂点の位置を特定する。画像領域抽出部41は、頂点特定部40により特定された頂点にもとづいて撮影領域26から原画像領域20を抽出し、画像補正部34に与える。

【0029】

エッジ検出部38と頂点特定部40の構成を詳しく説明する。エッジ検出部38のエッジ検出フィルタ部42は、撮影領域26に対してエッジ検出フィルタによるエッジ検出処理を施して、撮影領域26内の原画像領域20のエッジを検出し、最初に検出したエッジ上の点を頂点探索開始点 V_s としてエッジ追跡部44に与える。エッジ追跡部44は、フーリエ変換処理などにより、頂点探索開始点 V_s から原画像領域20の頂点方向にエッジラインを追跡することで、エッジラインの端点を検出し、その端点を原画像領域20の暫定頂点 V_e として頂点特定部40に与える。

10

【0030】

頂点特定部40のフーリエ変換処理部46は、暫定頂点 V_e の周辺の画像にフーリエ変換処理を施す。位相角算出部47は、フーリエ変換後の低周波数成分の位相角を算出する。頂点位置ずれ調整部48は、算出された位相角にもとづき、真の頂点位置からの暫定頂点 V_e のずれを求め、暫定頂点 V_e の位置ずれを調整した最終検出頂点 V_f を求め、画像領域抽出部41に与える。

20

【0031】

画像領域抽出部41は、最終検出頂点 V_f の座標値をもとに撮影領域26から原画像領域20を抽出し、画像補正部34に与える。画像領域抽出部41は、最終検出頂点 V_f 以外に、エッジ検出部38により検出されるエッジも利用して、原画像領域20を抽出してもよい。

【0032】

図6は、エッジ検出部38および頂点特定部40により原画像領域20が判定される様子を説明する図である。撮影領域26は長方形EFGH、原画像領域20は長方形ABDCで図示されている。撮影領域26の長方形EFGHの大きさは、縦height画素、横width画素である。以下では、横方向をx軸、縦方向をy軸とする座標系を設定する。

30

【0033】

エッジ検出部38のエッジ検出フィルタ部42は、撮影領域26の中心Oを求め、撮影領域26の左上の頂点Eから中心Oに向けて、傾き θ のエッジ走査方向50を定める。エッジ検出フィルタ部42は、頂点Eからエッジ走査方向50に沿って撮影領域26を走査し、エッジ検出フィルタなどを用いて、原画像領域20のエッジを検出する。これにより、エッジ走査方向50と原画像領域20の辺ACとの交点Iにおいて、最初にエッジが検出される。この交点Iが頂点探索開始点 V_s である。

【0034】

その後、エッジ追跡部44は、左向きに頂点走査方向52を定め、点Iから頂点走査方向52に沿って撮影領域26を走査し、フーリエ変換処理などを利用して、原画像領域20のエッジラインを追跡する。エッジ追跡部44による頂点走査方向52に沿ったエッジラインの追跡は、エッジラインの端点が検出された時点で停止する。この端点が暫定頂点 V_e である。

40

【0035】

さらに、頂点特定部40は、エッジ追跡部44により得られた暫定頂点 V_e の位置ずれを調整して、原画像領域20の頂点Aの座標を最終検出頂点 V_f として求める。

【0036】

なお、エッジ追跡部44が頂点Aを探索する向きは、同図の例では左向きであったが、

50

エッジ走査方向 50 が原画像領域 20 の辺 AB と交わる場合は、頂点 A を探索する向きは、上向きとなることに留意する。

【0037】

撮影領域 26 の右下の頂点 H を走査開始点として、原画像領域 20 の右下の頂点 D を探索する場合は、エッジ検出フィルタ部 42 は、エッジ走査方向 54 に沿った走査により、原画像領域 20 の辺 CD 上の点 L において最初にエッジを検出する。エッジ追跡部 44 は、下向きに頂点走査方向 56 を定め、点 L から頂点走査方向 56 に沿ってエッジラインを追跡し、辺 CD の端点付近で停止し、暫定頂点 V_e を取得する。頂点特定部 40 は、暫定頂点 V_e の位置ずれを調整して、原画像領域 20 の頂点 D を最終検出頂点 V_f として求める。

10

【0038】

ここでも、エッジ追跡部 44 が頂点 D を探索する向きは、同図の例では下向きであったが、エッジ走査方向 54 が原画像領域 20 の辺 BD と交わる場合は、頂点 D を探索する向きは、右向きとなることに留意する。

【0039】

撮影領域 26 の左下の頂点 F を走査開始点として、原画像領域 20 の左下の頂点 B を探索する場合、撮影領域 26 の右上の頂点 G を走査開始点として、原画像領域 20 の右上の頂点 C を探索する場合も同様の処理が行われる。

【0040】

図 3 の画像補正部 34 は、画像領域判定部 32 により抽出された原画像領域 20 の歪み補正を行う。撮影部 30 によって印刷画像 P を取り込む際、撮影画像にはレンズ歪みや透視歪みが生じる。画像補正部 34 は、埋め込まれた電子透かしを正確に抽出できるように、画像に生じた歪みを補正する。

20

【0041】

図 7 (a)、(b) は、原画像領域 20 の歪みを説明する図である。図 7 (a) は、撮影による歪みのない理想的な状態の原画像領域 20 を示したものであり、矩形 ABCD は長方形である。図 7 (b) は、撮影による歪みのある原画像領域 20 を示したものである。デジタルカメラで撮影した場合、印刷媒体 24 を正確に真上から撮影することは難しく、光軸のずれにより透視歪みが生じる。ここでは透視歪みを強調して矩形 ABCD を図示しているが、一般にはレンズの歪曲収差により樽型や糸巻き型のレンズ歪みも生じている。画像補正部 34 は、図 7 (b) のような歪みの生じた矩形 ABCD を 4 頂点の座標値を用いて幾何変換することにより、図 7 (a) の歪みのない長方形 ABCD に変形する。

30

【0042】

図 3 の透かし抽出部 36 は、画像補正部 34 によって歪み補正された原画像領域 20 の透かし埋め込み領域から透かしビットを検出することにより、透かし情報 X を抽出する。透かしビットを検出する際、埋め込み領域に歪みがあると、透かしの検出が困難になるが、画像補正部 34 により歪みが補正されているため、透かしの検出精度が保証される。

【0043】

以上の構成による電子透かし抽出装置 200 による電子透かし抽出手順を説明する。

【0044】

40

図 8 は、電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。撮影部 30 は印刷画像 P を撮影する (S10)。画像領域判定部 32 は画像領域判定処理を行い、撮影画像から原画像領域 20 を抽出する (S12)。画像補正部 34 は、原画像領域 20 に画像補正処理を施し、撮影による歪みを補正する (S14)。透かし抽出部 36 は、補正後の原画像領域 20 から透かし情報 X を検出する処理を行う (S16)。

【0045】

図 9 は、図 8 の画像領域判定処理 S12 の大まかな流れを示すフローチャートである。エッジ検出部 38 のエッジ検出フィルタ部 42 は、撮影領域 26 に含まれる原画像領域 20 のエッジを検出する処理を行う (S20)。エッジ追跡部 44 は、原画像領域 20 のエッジラインを追跡して、エッジラインの端点を原画像領域 20 の暫定頂点 V_e として取得

50

する処理を行う (S 2 2)。頂点特定部 4 0 は、暫定頂点 V_e をもとに、原画像領域 2 0 の頂点の位置を正確に特定する処理を行う (S 2 4)。

【0046】

図 1 0 は、図 9 のエッジ検出処理 S 2 0 の詳細な手順を示すフローチャートである。エッジ検出フィルタ部 4 2 は、撮影領域 2 6 のサイズ ($w i d t h, h e i g h t$) を取得し (S 3 0)、撮影領域 2 6 のアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を算出する (S 3 2)。また、エッジ検出フィルタの出力値の閾値 T を設定する (S 3 4)。

【0047】

エッジ検出フィルタ部 4 2 は、走査開始点の座標 (i, j) を設定する (S 3 6)。走査開始点は、図 5 に示す撮影領域 2 6 の 4 隅 E、F、G、H のいずれかに設定される。ここでは、左上の頂点 E を走査開始点として設定し、左上の頂点 A を検出する場合を説明する。 x 座標値 i にアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を加算し、 y 座標値 j に 1 を加算することにより、検査点 (i, j) を定め、走査開始点から撮影画像の中心に向かう走査方向に沿って探索を進める (S 3 8)。

【0048】

なお、左下の頂点 F を走査開始点として設定し、左下の頂点 B を検出する場合は、 x 座標値 i にアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を加算し、 y 座標値 j から 1 を減算することにより、検査点 (i, j) を定める。また、右上の頂点 G を走査開始点として設定し、右上の頂点 C を検出する場合は、 x 座標値 i からアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を減算し、 y 座標値 j に 1 を加算することにより、検査点 (i, j) を定める。また、右下の頂点 H を走査開始点として設定し、右下の頂点 D を検出する場合は、 x 座標値 i からアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を減算し、 y 座標値 j から 1 を減算することにより、検査点 (i, j) を定める。

【0049】

エッジ検出フィルタ部 4 2 は、検査点 (i, j) を中心とする小領域にエッジ検出フィルタを施し、エッジ検出フィルタによる出力値 P を計算する (S 4 0)。出力値 P が閾値 T を超えた場合 (S 4 2 の Y)、エッジが検出されたと判定し、エッジ方向を特定し (S 4 4)、エッジが検出されたときの検査点の座標 (i, j) を頂点探索開始点 V_s の座標 (i_s, j_s) として取得する (S 4 6)。出力値 P が閾値 T を超えない場合 (S 4 2 の N)、ステップ S 3 8 に戻り、検査点の座標値をインクリメントして、さらにエッジ検出フィルタによる走査を続ける。

【0050】

図 1 1 (a) ~ (d) は、エッジ検出フィルタを説明する図である。エッジ検出フィルタ部 4 2 は、テンプレート・マッチングの方法を用いたエッジ検出フィルタリングを行う。具体的には、エッジ検出フィルタの一例として、Prewitt オペレータを用いて、エッジラインとエッジ方向を検出する。同図には、Prewitt オペレータのマスクパターンと、そのマスクパターンにより検出されるエッジパターンが示されている。

【0051】

図 1 1 (a) は、上向きのエッジを検出するためのマスクパターン 6 0 と、そのマスクパターン 6 0 により検出されるエッジパターン 6 1 である。エッジ検出フィルタ部 4 2 は、検査点を中心とする縦横 3 画素の検査領域にこのマスクパターン 6 0 を適用し、検査領域内の各画素の画素値にマスクパターン 6 0 のマスクの値を乗じて和をとることで、出力値 P を計算する。出力値 P が閾値 T よりも大きい場合、検査点がエッジライン上にあり、同図に示す上向きのエッジパターン 6 1 が検出されたと判定する。ここで、エッジの向きは、エッジラインに垂直であって、画素の暗い方から明るい方に向かう方向、すなわち輝度値の小さい方から輝度値の大きい方に向かう方向に定義されることに注意する。

【0052】

同様に、図 1 1 (b) は、下向きのエッジを検出するためのマスクパターン 6 2 と、それにより検出されるエッジパターン 6 3、図 1 1 (c) は、左向きのエッジを検出するためのマスクパターン 6 4 とそれにより検出されるエッジパターン 6 5、図 1 1 (d) は、

右向きのエッジを検出するためのマスクパターン 66 とそれにより検出されるエッジパターン 67 を示す。

【0053】

図 10 のステップ S40～S44 では、エッジ検出フィルタ部 42 は、検査点 (i, j) を中心とする縦横 3 画素の検査領域に対して、撮影領域 26 の左上の隅 E から走査を開始する場合は、図 11 (a)、図 11 (c) に示す上向き、左向きのエッジを検出するマスクパターン 60、64 を適用して、それぞれの出力値 P を計算し、いずれかのマスクパターンによる出力値 P が閾値 T を超えた場合に、エッジが検出されたものと判定し、閾値 T を超えた方のマスクパターンにより、エッジの方向を特定する。すなわち、エッジが検出された時点で検査点 V はエッジライン上にあり、エッジが上向きか左向きかが特定され、このときの検査点 V の座標 (i, j) が頂点探索開始点 V_s の座標 (i_s, j_s) となる。

10

【0054】

同様に、撮影領域 26 の左下の隅 F から走査を開始する場合は、エッジ検出フィルタ部 42 は、図 11 (b)、図 11 (c) に示す下向き、左向きのエッジを検出するマスクパターン 62、64 を適用して出力値 P を計算する。また、撮影領域 26 の右上の隅 G から走査を開始する場合は、図 11 (a)、図 11 (d) に示す上向き、右向きのエッジを検出するマスクパターン 60、66 を適用して出力値 P を計算する。撮影領域 26 の右下の隅 H から走査を開始する場合は、図 11 (b)、図 11 (d) に示す下向き、右向きのエッジを検出するマスクパターン 62、66 を適用して出力値 P を計算する。

20

【0055】

図 12 (a)、(b) は、エッジ検出フィルタにより原画像領域 20 のエッジが検出される様子を説明する図である。図 12 (a) では、撮影領域 26 の左上の頂点 E からエッジ走査方向 50 に沿って、上向きのエッジを検出するマスクパターン 60 と左向きのエッジを検出するマスクパターン 64 とが検査点 V を中心とする検査領域に適用され、検査点 V が原画像領域 20 の上辺に到達したときに、上向きのエッジを検出するマスクパターン 60 による出力値 P が閾値 T を超え、上向きのエッジ方向 70 が検出される。このときの検査点 V を頂点探索開始点 V_s とする。

【0056】

同様に、図 12 (b) では、撮影領域 26 の右下の頂点 H からエッジ走査方向 54 に沿って、下向きのエッジを検出するマスクパターン 62 と右向きのエッジを検出するマスクパターン 66 とが検査点 V を中心とする検査領域に適用され、検査点 V が原画像領域 20 の右辺に到達したときに、右向きのエッジを検出するマスクパターン 66 による出力値 P が閾値 T を超え、右向きのエッジ方向 72 が検出される。このときの検査点 V を頂点探索開始点 V_s とする。

30

【0057】

図 13 は、図 9 のエッジライン追跡処理 S22 の詳細な手順を説明するフローチャートである。エッジ追跡部 44 は、図 10 のエッジ検出処理 S20 で最終的に得られた頂点探索開始点 V_s の座標 (i_s, j_s) を検査点 V の座標 (i, j) に代入する (S50)。エッジ検出のために画像領域を走査する幅 (以下、単に走査幅という) d を所定の値に設定する (S51)。図 10 のエッジ検出処理 S20 で特定されたエッジ方向が横向きである場合 (S52 の Y)、縦方向走査処理を行い (S54)、エッジ方向が横向きでない場合 (S52 の N)、横方向走査処理を行う (S56)。縦方向走査処理 S54 または横方向走査処理 S56 により、原画像領域 20 のエッジラインが追跡され、エッジラインの端点が暫定頂点 V_e の座標 (i_e, j_e) として取得される (S58)。

40

【0058】

図 14 は、図 13 の縦方向走査処理 S54 の詳細な手順を説明するフローチャートである。この縦方向走査処理 S54 では、エッジ検出部 38 が、図 15 に示す縦横 N 画素の検査領域 80 を空間周波数領域に変換したときの低周波数成分の位相角に基づいて、原画像領域 20 のエッジを検出する。なお、一例として N は 16 である。なお、ここでは、左上

50

の頂点 A を検出する場合を説明する。

【0059】

ステップ S 6 0 では、エッジ追跡のスタート位置が設定される。前記頂点探索開始点 V_s の x 座標、 y 座標をそれぞれ (i, j) としたとき、エッジ追跡のスタート位置である検査点 V の x 座標、 y 座標はそれぞれ、 $(i - d/2, j)$ に設定される。なお、一例として、走査幅 d は 8 であり、前記 N より小さい値に設定される。なお、図 15 において、紙面右側が i の正方向であり、紙面下側が j の正方向である。

【0060】

ステップ S 6 2 では、エッジ追跡部 44 により、前記検査点 V を中心とする縦横 N 画素の検査領域 80 にフーリエ変換処理が施される。ここで、検査領域 80 の各画素の輝度値を $h(x, y)$ とし、検査領域 80 にフーリエ変換処理として離散フーリエ変換を行った結果を $H(u, v)$ とすると、 $H(u, v)$ は、式 (1) のように表現される。

$$\begin{aligned} H(u, v) &= \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \{ h'(x, y) \exp[-i 2\pi (ux + vy)/N] \} \\ u, v &= 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1) \end{aligned}$$

但し、

$$h'(x, y) = h(x - i + (N + d)/2, y - j + N/2)$$

なお、式 (1) において、指数関数 $\exp[]$ の中で用いられる i は虚数単位であり、 x 座標値を表す i とは区別される。

【0061】

ステップ S 6 4 では、エッジ追跡部 44 により、検査領域 80 のフーリエ変換の水平方向の交流成分における最低周波数成分（以下、最低水平周波数成分という）の実数成分、即ち、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ が取得される。

【0062】

ここで、式 (1) は、次のように変形することができる。

$$\begin{aligned} H(u, v) &= \sum_{y=0}^{N-1} \{ \exp[-i 2\pi v y/N] \} \\ &\times \sum_{x=0}^{N-1} \{ h'(x, y) \exp[-i 2\pi u x/N] \} \quad (2) \end{aligned}$$

【0063】

したがって、 $H(1, 0)$ は、

$$\begin{aligned} H(1, 0) &= \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \{ h'(x, y) \exp[-i 2\pi x/N] \} \quad (3) \end{aligned}$$

となる。ところで、 $h(x, y)$ が複素数である場合、

$$h(x, y) = h_r(x, y) + i h_i(x, y) \quad (4)$$

と表現することができる。したがって、 $h(x, y) \exp[-i 2\pi x/N]$ は、次式のように変形できる。

$$\begin{aligned} h(x, y) \exp[-i 2\pi x/N] &= h(x, y) \{ \cos[2\pi x/N] - i \sin[2\pi x/N] \} \\ &= h_r(x, y) \{ \cos[2\pi x/N] - i \sin[2\pi x/N] \} \\ &\quad + h_i(x, y) \{ \sin[2\pi x/N] - i \cos[2\pi x/N] \} \quad (5) \end{aligned}$$

【0064】

ここで、検査領域 80 の各画素の輝度値 $h(x, y)$ の虚数成分は 0 であるとする、

$$\begin{aligned} h(x, y) \exp[-i 2\pi x/N] &= h_r(x, y) \{ \cos[2\pi x/N] - i \sin[2\pi x/N] \} \quad (6) \end{aligned}$$

となる。ゆえに、 $H(1, 0)$ は、

$$\begin{aligned} H(1, 0) &= \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \{ h_r'(x, y) (\cos[2\pi x/N] - i \sin[2\pi x/N]) \} \quad (7) \end{aligned}$$

但し、

10

20

30

40

50

$h_r'(x, y) = h_r(x - i + (N + d) / 2, y - j + N / 2)$
となる。

【0065】

また、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ 、虚数成分 $H_i(1, 0)$ はそれぞれ、

$$H_r(1, 0) = \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} h_r'(x, y) \cos[2\pi x / N] \quad (8r)$$

$$H_i(1, 0) = - \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} h_r'(x, y) \sin[2\pi x / N] \quad (8i)$$

となる。

【0066】

上記 $H(1, 0)$ の値は、検査領域 80 における輝度値 $h(x, y)$ の分布によって異なる。以下 3 つの例 (A)、(B)、(C) を挙げて説明する。

【0067】

(A) $h(x, y)$ が一様分布のとき
即ち、

$$h(x, y) = m \quad (9)$$

但し、 $i - N / 2 \leq x \leq i + N / 2 - 1$ かつ、

$$j - N / 2 \leq y \leq j + N / 2 - 1$$

である場合、

$$H_r(1, 0) = m \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \cos[2\pi x / N]$$

$$H_i(1, 0) = -m \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \sin[2\pi x / N]$$

となるが、ここで、

$$\sum_{x=0}^{N-1} \cos[2\pi x / N] = 0$$

$$\sum_{x=0}^{N-1} \sin[2\pi x / N] = 0$$

であるから、

$$H_r(1, 0) = H_i(1, 0) = 0$$

となり、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ 、虚数成分 $H_i(1, 0)$ は、ともに 0 になる。

【0068】

(B) 検査領域 80 の中央の検査点 V に原画像領域 20 と余白領域のエッジがある場合、例えば、

$$h(x, y)$$

$$= m_1 \quad (i - N / 2 \leq x \leq i - 1, j - N / 2 \leq y \leq j + N / 2 - 1) ;$$

$$m_2 \quad (i \leq x < i + N / 2 - 1, j - N / 2 \leq y \leq j + N / 2 - 1) \quad (10)$$

(但し、 m_1 : 余白領域の輝度、 m_2 : 原画像領域 20 の輝度であり、 $m_1 < m_2$) のとき、

$$H_r(1, 0) = \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \cos[2\pi x / N] + \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \cos[2\pi x / N] \quad (11r)$$

$$H_i(1, 0) = - \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sin[2\pi x / N] - \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sin[2\pi x / N] \quad (11i)$$

【0069】

ここで、

$$\sum_{x=0}^{N/2-1} \cos[2\pi x / N] = \sum_{x=N/2}^{N-1} \cos[2\pi x / N] = 0$$

であるから、

$$H_r(1, 0) = 0$$

10

20

30

40

50

$H_i(1, 0)$
 $= -N \times (m_1 \sum_{x=0}^{N/2-1} \sin[2\pi x/N] + m_2 \sum_{x=N/2}^{N-1} \sin[2\pi x/N])$
 となり、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ は 0 となるが、虚数成分 $H_i(1, 0)$ は 0 にはならない。

【0070】

(C) 検査領域 80 の中央の検査点 V ではないところに原画像領域 20 と余白領域のエッジがある場合、例えば、

$$\begin{aligned}
 h(x, y) &= m_1 \quad (0 \leq x \leq N/4 - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1); \\
 & \quad m_2 \quad (N/4 \leq x < N - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1) \quad (12)
 \end{aligned}$$

(但し $m_1 \neq m_2$)

である場合、

$$\begin{aligned}
 H_r(1, 0) &= \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N/4-1} m_1 \cos[2\pi x/N] + \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=N/4}^{N-1} m_2 \cos[2\pi x/N] \\
 H_i(1, 0) &= -\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N/4-1} m_1 \sin[2\pi x/N] - \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=N/4}^{N-1} m_2 \sin[2\pi x/N]
 \end{aligned}$$

となり、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ 及び虚数成分 $H_i(1, 0)$ は 0 にはならない。

【0071】

ステップ S66 では、前記 $H(1, 0)$ が 0 であるかどうかの評価される。 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ が 0 でなければ、上記 (B) の説明から、前記検査点 V (i, j) は、原画像領域 20 と余白領域のエッジ上にはないものとみなされる。そして、ステップ S68 へ進み、検査点 V の x 座標値 i が 1 だけインクリメントされ、検査点 V が x 軸方向に移動される。そして、ステップ S62 では、新しい検査点 V を中心とする縦横 N 画素の検査領域 80 にフーリエ変換処理が施される。

【0072】

上記ステップ S66 において、 $H(1, 0)$ の実数成分 $H_r(1, 0)$ が 0 であれば、前記検査点 V (i, j) は、原画像領域 20 と余白領域のエッジ上にあるものとみなされ、その検査点 V においてエッジが検出されたと判定される。

【0073】

なお、図 14 において、 $H_{1,0}$ は上記 $H_r(1, 0)$ のことを、 $H_{0,1}$ は $H_r(0, 1)$ のことを意味している。また、以後の文中で登場する $H_{1,0}$ 及び $H_{0,1}$ も同様のことを意味する。また、以後の文中で登場するフーリエ変換の (1, 0) 成分、フーリエ変換の (0, 1) 成分はそれぞれ $H(1, 0)$ 、 $H(0, 1)$ のことを指すものとする。

【0074】

エッジが検出されると、ステップ S70 では、検査領域 80 のフーリエ変換の垂直方向の交流成分における最低周波数成分（以下、最低垂直周波数成分という）の実数成分、即ち $H(0, 1)$ の実数成分 $H_r(0, 1)$ が取得され、記憶される。ここで、ステップ S70 では、新しく得られた実数成分 $H_r(0, 1)$ が次のステップ S70 の実行時まで一時的にメモリに記憶され、後述のようにステップ S71 でその内容が読み出され、ステップ S72 で実数成分 $H_r(0, 1)$ の変化量の計算に利用される。

【0075】

式 (8r) の導出と同様の方法により、 $H_r(0, 1)$ 、 $H_i(0, 1)$ は、

$$\begin{aligned}
 H_r(0, 1) &= \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} h_r'(x, y) \cos[2\pi y/N] \quad (13r) \\
 H_i(0, 1) &
 \end{aligned}$$

$$= - \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} h_r(x, y) \sin[2\pi y/N] \quad (13i)$$

となる。上記 $H_r(0, 1)$ 、 $H_i(0, 1)$ の値も、検査領域 80 における輝度値 $h(x, y)$ の分布によって異なる。以下 3 つの例 (D)、(E)、(F) の例を挙げて説明する。

【0076】

(D) 検査領域 80 の中央の検査点 V に原画像領域 20 と余白領域のエッジがあるが、検査領域 80 内に原画像領域 20 の頂点がない場合、例えば、

$$\begin{aligned} h(x, y) &= m_1 \quad (i - N/2 \leq x \leq i - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1); \\ & \quad m_2 \quad (i \leq x < i + N/2 - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1) \end{aligned} \quad (14)$$

のとき、

$$\begin{aligned} H_r(0, 1) &= \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \\ & \quad + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \end{aligned} \quad (15r)$$

$$\begin{aligned} H_i(0, 1) &= - \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \\ & \quad - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \end{aligned} \quad (15i)$$

となる。

【0077】

ここで、

$$\sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] = \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] = 0$$

であるから、

$$H_r(0, 1) = H_i(0, 1) = 0$$

となる。

【0078】

(E) 検査領域 80 内に原画像領域 20 の頂点がある場合 (但し、検査点 V と頂点は一致しないものとする)、例えば、

$$\begin{aligned} h(x, y) &= m_1 \quad (i - N/2 \leq x \leq i - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1); \\ & \quad m_1 \quad (i \leq x < i + N/2 - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/4 - 1); \\ & \quad m_2 \quad (i \leq x < i + N/2 - 1, j + N/4 \leq y \leq j + N/2 - 1) \end{aligned} \quad (16)$$

のとき、

$$\begin{aligned} H_r(0, 1) &= \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \\ & \quad + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \cos[2\pi y/N] \\ & \quad + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \end{aligned} \quad (17r)$$

$$\begin{aligned} H_i(0, 1) &= - \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \\ & \quad - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \sin[2\pi y/N] \\ & \quad - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \end{aligned} \quad (17i)$$

となる。

【0079】

ここで、

$$\sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] = \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] = 0$$

であるから、

$$\begin{aligned} H_r(0, 1) &= \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \cos[2\pi y/N] \\ & \quad + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \\ &= N/2 \times (m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \cos[2\pi y/N] \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
& + m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \quad (18r) \\
H_i(0, 1) & = - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \sin[2\pi y/N] \\
& - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \\
& = -N/2 \times (m_1 \sum_{y=0}^{3N/4-1} \sin[2\pi y/N] \\
& + m_2 \sum_{y=3N/4}^{N-1} \sin[2\pi y/N]) \quad (18i)
\end{aligned}$$

となり、 $H(0, 1)$ の実数成分 $H_r(0, 1)$ 及び虚数成分 $H_i(0, 1)$ は 0 にならない。

【0080】

(F) 検査点 V と頂点が一致した場合、即ち、

10

$$\begin{aligned}
h(x, y) & = m_1 \quad (i - N/2 \leq x \leq i - 1, j - N/2 \leq y \leq j + N/2 - 1); \\
& m_1 \quad (i \leq x < i + N/2 - 1, j - N/2 \leq y \leq j - 1); \\
& m_2 \quad (i \leq x < i + N/2 - 1, j \leq y \leq j + N/2 - 1) \quad (19)
\end{aligned}$$

のとき、

$$\begin{aligned}
H_r(0, 1) & = \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \\
& + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{N/2-1} \cos[2\pi y/N] \\
& + \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=N/2}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \quad (20r) \\
H_i(0, 1) & = - \sum_{x=0}^{N/2-1} m_1 \sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \\
& - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_1 \sum_{y=0}^{N/2-1} \sin[2\pi y/N] \\
& - \sum_{x=N/2}^{N-1} m_2 \sum_{y=N/2}^{N-1} \sin[2\pi y/N] \quad (20i)
\end{aligned}$$

20

となる。

【0081】

ここで、

$$\begin{aligned}
& \sum_{y=0}^{N-1} \cos[2\pi y/N] \\
& = \sum_{y=0}^{N/2-1} \cos[2\pi y/N] = \sum_{y=N/2}^{N-1} \cos[2\pi y/N]
\end{aligned}$$

]

= 0 であり、

30

$$\sum_{y=0}^{N-1} \sin[2\pi y/N] = 0$$

であるから、

$$H_r(0, 1) = 0,$$

$$H_i(0, 1)$$

$$= -Nm_1/2 \sum_{y=0}^{N/2-1} \sin[2\pi y/N]$$

$$= -Nm_2/2 \sum_{y=N/2}^{N-1} \sin[2\pi y/N]$$

となる。 $H(0, 1)$ のうち、実数成分 $H_r(0, 1)$ は 0 となる。

【0082】

ステップ S 7 1 では、前回のステップ S 7 0 の実行時に記憶した $H_r(0, 1)$ がメモリから読み出される。ステップ S 7 2 では、ステップ S 7 0 において今回新しく取得された $H_r(0, 1)$ とメモリに記憶されていた前回の $H_r(0, 1)$ とを比較し、その変化量が所定の閾値よりも大きいかが評価される。ここで、 $H_r(0, 1)$ が 0 でない場合は、上記 (E) の場合に該当する。すなわち、検査領域 8 0 内に原画像領域 2 0 の頂点があるということである。ただし、頂点が検査領域 8 0 の端付近にある場合は、 $H_r(0, 1)$ の値は 0 にはならないものの、大きな値をとることはない。検査点を垂直方向にずらしていくにつれ、原画像領域 2 0 の頂点は検査領域 8 0 の中央部に近づいていくが、これに伴って、 $H_r(0, 1)$ は徐々に大きくなっていく。したがって、 $H_r(0, 1)$ の変化量が所定の閾値より大きい場合は、原画像領域 2 0 の頂点は検査領域 8 0 の中央部に近づいてきたものとみなし、ステップ S 5 4 の一連の処理は終了する。

40

【0083】

50

一方、ステップ S 7 2 において $H_r(0, 1)$ の変化量が所定の閾値以下であると判断された場合は、ステップ S 7 4 へ進む。ステップ S 7 4 では、 j が 1 だけデクリメントされる。即ち、検査点 V は、左上の頂点 A を探索するために、図 1 5 の紙面上側に移動する。そして、ステップ S 6 0 以降の処理が繰り返される。

【0084】

図 1 5 は、左上の頂点 A を探索する場合における縦方向走査処理 S 5 4 が行われる様子を説明する図である。図 1 0 のエッジ検出処理 S 2 0 で最終的に得られた頂点探索開始点 $V_s(i, j)$ を中心として、エッジ検出処理 S 2 0 で特定されたエッジ方向 7 4 に d 画素の幅をもつ走査幅 7 6 が設定される。頂点探索開始点 $V_s(i, j)$ をエッジ方向 7 4 に $d/2$ 画素だけずらすことにより、縦方向走査処理 S 5 4 の走査のスタート位置である検査点 $V(i - d/2, j)$ が設定される。エッジ検出部 3 8 は、この検査点 V において縦横 N 画素からなる検査領域 8 0 を設定し、検査領域 8 0 の画素値をフーリエ変換する。画素数 N はたとえば 16 に設定される。

【0085】

エッジ検出部 3 8 は、検査領域 8 0 を検出されたエッジ方向 7 4 と平行な走査方向 7 8 に 1 画素ずつシフトさせながらフーリエ変換処理を行い、最低水平周波数成分の実軸成分 $H_{1,0}$ の値が 0 になることにより、検査点 V が原画像領域 2 0 のエッジライン上に到達したことを検出する。検査点 V がエッジライン上に到達すると、エッジ方向とは垂直な走査方向 7 9 に沿って、検査領域 8 0 を上向きに 1 画素だけシフトさせ、同じように $d/2$ だけ検査領域 8 0 をずらした位置をスタート位置として、エッジ方向と並行な走査方向 7 8 にエッジ検出を続ける。これが、ステップ S 6 0 ~ S 6 8 の走査処理である。

【0086】

なお、検査領域 8 0 を横向き、上向きにシフトさせる量が、1 画素でなくてもよく、2 画素以上 N 画素以下であってもよい。また、二分探索法を用いて走査範囲を絞り込みながら、走査を行ってもよい。

【0087】

なお、図 1 4 と図 1 5 では、左上の頂点 A を縦方向に探索して検出する場合を説明した。左下の頂点 B を検出する場合は、ステップ S 7 4 において、検査点 V の y 座標値 j が 1 だけインクリメントされるように変更する。また、右上の頂点 C を検出する場合は、ステップ S 6 0 において、検査点 V の x 座標値 i が $i + d/2$ に設定され、ステップ S 6 8 において、検査点 V の x 座標値 i が 1 だけデクリメントされるように変更する。また、右下の頂点 D を検出する場合は、ステップ S 6 0 において、検査点 V の x 座標 i が $i + d/2$ に設定され、ステップ S 6 8 において、検査点 V の x 座標値 i が 1 だけデクリメントされ、ステップ S 7 4 において、検査点 V の y 座標値 j が 1 だけインクリメントされるように変更する。

【0088】

ところで、輝度値分布が $h'(x, y)$ である縦横 N 画素の検査領域 8 0 の座標を x 方向（水平方向）に k だけシフトさせた $h'(x - k, y)$ のフーリエ変換を求めると、次のようになる。

$$\begin{aligned} F\{h'(x - k, y)\} &= \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \{h'(x - k, y) \exp[-i 2\pi (ux + uk + vy)/N]\} \\ &= \exp(-i 2\pi uk/N) H(u, v) \quad (21) \end{aligned}$$

【0089】

式 (21) は、輝度値分布が k 画素分だけ x 方向（水平方向）にシフトすると、フーリエ変換後の信号空間においては、信号の位相角が $2\pi uk/N$ だけシフトすることを意味する。逆にいえば、フーリエ変換後の信号の位相角のシフト量 $2\pi uk/N$ を角周波数 $\omega = 2\pi u/N$ で除算することにより、原信号のシフト量を求めることができる。

【0090】

なお、上記ステップ S 6 6 では、検査点 V を中心としたフーリエ変換の実数成分 $H_{1,0}$

10

20

30

40

50

。が0である場合にエッジが検出されたものと判定したが、これに代えて、前記実数成分 $H_{1,0}$ が所定の値以下である場合にエッジが検出されたものと判定するものであっても良い。これにより、原画像領域20及び余白部分の輝度値が均一でない場合、たとえばノイズに起因し、場所によってばらついている場合でも、エッジ位置を正しく検出することができる。あるいは、実数成分 $H_{1,0}$ の絶対値が最小となるような前記検査点Vがエッジ位置であるとみなすものであっても良い。

【0091】

図16(a)～(d)は、検査領域80のフーリエ変換の最低水平周波数成分により横方向のエッジが判定される原理を説明する図である。図16(a)のように、検査領域80の中心点Vがちょうど原画像領域20のエッジライン上に存在するとき、フーリエ変換の最低水平周波数成分である(1, 0)成分は、図16(d)に示す実数部を実軸Re、虚数部を虚軸Imにとった座標系の単位円上で、実軸成分が0の虚軸Im上のベクトル90で表される。

10

【0092】

一方、図16(b)のように、検査領域80の中心点Vが原画像領域20の横方向のエッジラインからk画素だけ左にずれているときは、フーリエ変換の最低水平周波数成分である(1, 0)成分は、図16(d)に示すように、Im軸に対して位相角が $-\omega k$ をなすベクトル92で表され、このときの実軸成分 $H_{1,0}$ は負である。また、図16(c)のように、検査領域80の中心点Vが原画像領域20の横方向のエッジラインからk画素だけ右にずれているときは、フーリエ変換の最低水平周波数成分である(1, 0)成分は、図16(d)に示すように、Im軸に対して位相角が ωk をなすベクトル91で表され、このときの実軸成分 $H_{1,0}$ は正である。

20

【0093】

したがって、フーリエ変換の(1, 0)成分の実軸成分 $H_{1,0}$ の値が0であれば、そのときの検査領域80の中心点Vがエッジライン上にあると判定でき、(1, 0)成分の実軸成分 $H_{1,0}$ の値が0でなければ、中心点Vがエッジラインからずれていると判定できる。この性質に基づき、図14のステップS66では、実軸成分 $H_{1,0}$ の値が0であるかどうかでエッジ検出を判定している。なお、実際の検出においては、ノイズによる影響があるため、実軸成分 $H_{1,0}$ の値が正確に0でなくても、0に近い場合に、エッジ検出の判定を行ってよい。

30

【0094】

エッジ検出の判定精度を高めるため、最低周波数成分(1, 0)だけでなく、2番目の低周波数成分(2, 0)についても実軸成分 $H_{2,0}$ が0であるかどうかを合わせて評価してもよい。さらに高周波の成分を用いてもよいが、高周波になるほどノイズの影響を受けやすいことに注意する。

【0095】

ここで、フーリエ変換の最低周波数成分(1, 0)における角周波数 ω は、検査領域80の画素数Nを用いて、 $\omega = 2\pi / N$ と表されることから、位置ずれkが画素数Nの半分である場合の位相角は $\omega k = (2\pi / N) \times (N / 2) = \pi$ であり、このときの最低周波数成分(1, 0)は、虚軸Im上の負の向きのベクトル93となる。このときが位置ずれkの検出限界となるから、最低周波数成分(1, 0)の位相角 ωk によって検出可能な位置ずれkの範囲は $-N / 2 \leq k < N / 2$ である。

40

【0096】

また、2番目の低周波数成分(2, 0)における角周波数 ω は、 $\omega = 4\pi / N$ であり、一般にフーリエ変換の周波数成分(i, 0)における角周波数 ω は、 $\omega = (2\pi / N) \times i$ であるから、2番目の低周波数成分(2, 0)をエッジ検出に用いた場合、検出可能な位置ずれkの範囲は、 $-N / 4 \leq k < N / 4$ に狭まる。一般に周波数成分(i, 0)を用いた場合、検出可能な位置ずれkの範囲は、 $-N / (2i) \leq k < N / (2i)$ に狭まる。

【0097】

50

図16(a)～(d)では、検査領域80のフーリエ変換の最低水平周波数成分すなわち(1, 0)成分の実軸成分 $H_{1,0}$ により横方向のエッジの検出が可能であることを説明したが、同様に、検査領域80のフーリエ変換の最低垂直周波数成分すなわち(0, 1)成分の実軸成分 $H_{0,1}$ により縦方向のエッジの検出が可能である。

【0098】

図17は、図14のステップS72の縦方向走査の停止条件を説明する図である。検査領域80を縦方向に1画素ずつシフトして縦方向の走査を続け、同図のように、検査領域80内に原画像領域20の頂点Aが入ったとする。このとき検査領域の中心点(検査点)Vは、原画像領域20のエッジライン上にあるが、原画像領域20の頂点Aからずれている。

10

【0099】

このとき、検査領域80の中心点Vが原画像領域20の上辺のエッジラインからずれているために、検査領域80のフーリエ変換の低周波垂直成分すなわち(0, 1)成分の実軸成分 $H_{0,1}$ の値は非零である。縦方向走査により、検査領域80内に原画像領域20の頂点Aが入ることにより、(0, 1)成分の実軸成分 $H_{0,1}$ の値に変化が生じるため、この変化をとらえて、縦方向走査を終了する。ステップS72では(0, 1)成分の実軸成分 $H_{0,1}$ の変化量と所定の閾値の大小関係にもとづいて停止の判定を行ったが、これに代えて、実軸成分 $H_{0,1}$ と所定の閾値の大小関係にもとづいて停止の判定を行ってもよい。この場合、図14のステップS71の処理は不要である。縦方向走査の停止時点での検査点Vをエッジラインの端点とみなし、検査点Vの座標値を暫定頂点V_eの座標値として取得する。

20

【0100】

図18は、図13の横方向走査処理S56の詳細な手順を説明するフローチャートである。横方向走査処理S56は、図14の縦方向走査処理S54と走査方向が異なるだけで、処理としては同じである。なお、ここでは、左上の頂点Aを検出場合を説明する。

【0101】

エッジ追跡部44は、検査点Vのy座標値を示す変数jから走査幅dの1/2を減算することにより、検査点Vのスタート位置を設定する(S80)。エッジ追跡部44は、検査点V(i, j)を中心とする縦横N画素の検査領域にフーリエ変換処理を施す(S82)。エッジ追跡部44は、検査領域のフーリエ変換の(0, 1)成分の実軸成分 $H_{0,1}$ を取得し(S84)、実軸成分 $H_{0,1}$ が0でない場合(S86のN)、y座標値jを1だけインクリメントして、検査点Vをy軸方向に移動させ(S88)、新しい検査点Vについてフーリエ変換処理S82を続ける。

30

【0102】

実軸成分 $H_{0,1}$ が0である場合(S86のY)、その検査点Vにおいてエッジが検出されたと判定し、次にフーリエ変換の(1, 0)成分の実軸成分 $H_{1,0}$ を取得し(S90)、実軸成分 $H_{1,0}$ を閾値と比較して、横方向走査の停止条件の成否を調べる(S92)。停止条件が成立する、すなわち実軸成分 $H_{1,0}$ が閾値よりも大きい場合(S92のY)、横方向走査処理を終了してリターンする。停止条件が成立しない、すなわち実軸成分 $H_{1,0}$ が閾値以下である場合(S92のN)、検査点Vのx座標値iを1だけデクリメントして、左上の頂点Aを探索するために、左向きに検査点Vを移動させ(S94)、ステップS80以降の処理を繰り返す。

40

【0103】

なお、図18では、左上の頂点Aを横方向に探索して検出する場合を説明した。左下の頂点Bを検出する場合は、ステップS80において、検査点Vのy座標値jがj + d/2に設定され、ステップS88において、検査点Vのy座標値jが1だけデクリメントされるように変更する。また、右上の頂点Cを検出する場合は、ステップS94において、検査点Vのx座標値iが1だけインクリメントされるように変更する。また、右下の頂点Dを検出する場合は、ステップS80において、検査点Vのy座標値jがj + d/2に設定され、ステップS88において、検査点Vのy座標値jが1だけデクリメントされ、ステッ

50

プ S 9 4 において、検査点 V の x 座標値 i が 1 だけインクリメントされるように変更する。

【0104】

図 1 4 の縦方向走査処理 S 5 4 および図 1 8 の横方向走査処理 S 5 6 では、検査点を 1 画素ずつシフトさせて、その都度、検査領域に対するフーリエ変換を求めた。しかしながら、図 1 6 (a) ~ (d) で説明したように、検査領域 8 0 の中心点 V とエッジラインとのずれ k が、フーリエ変換後の空間では、虚軸 Im となす位相角 ωk として現れることを利用すれば、位相角 ωk を角周波数 ω で除算することにより、位置ずれ k を求めることができる。したがって、検査領域 8 0 内にエッジラインが入った時点でのフーリエ変換処理の結果から、検査領域 8 0 の中心点 V とエッジラインのずれ k を算出して、その後の検査領域 8 0 の走査とフーリエ変換処理を省略して、エッジラインの位置を求めてもよい。この方法によれば、フーリエ変換処理の回数を減らすことができる。

10

【0105】

図 1 9 は、図 9 の頂点位置特定処理 S 2 4 の詳細な手順を説明するフローチャートである。この処理において、頂点特定部 4 0 のフーリエ変換処理部 4 6 および位相角算出部 4 7 は、暫定頂点 V_e の位置ずれ検出処理を行い、真の頂点の位置に対する暫定頂点 V_e の x 軸方向のずれ d_{iff_x} と y 軸方向のずれ d_{iff_y} とを求める。

【0106】

図 2 0 (a)、(b) は、暫定頂点 V_e の位置ずれを説明する図である。図 2 0 (a) は、縦方向走査処理 S 5 4 または横方向走査処理 S 5 6 の走査が終わった時点での検査領域 8 0 と原画像領域 2 0 の関係を示す。検査領域 8 0 の中心点すなわち暫定頂点 $V_e (i_e, j_e)$ は、原画像領域 2 0 の真の頂点 A の位置から x 軸方向に d_{iff_x} 、y 軸方向に d_{iff_y} だけずれている。このようなずれが生じるのは、縦方向走査処理 S 5 4 および横方向走査処理 S 5 6 では、検査領域 8 0 内に原画像領域 2 0 の頂点が入った時点で、走査を停止し、それ以降の探索を行わないためである。また、ノイズの影響により、エッジの追跡だけでは正確な頂点位置を判定できないためでもある。

20

【0107】

図 2 0 (b) は、検査領域 8 0 の中心点すなわち暫定頂点 V_e と、原画像領域 2 0 の頂点 A とが一致している理想的な状態を示したものである。図 2 0 (b) の理想的な状態における検査領域 8 0 の画像は参照画像として、図 2 0 (a) の実際の検査領域 8 0 における暫定頂点 V_e の位置ずれの調整のために利用される。

30

【0108】

頂点特定部 4 0 のフーリエ変換処理部 4 6 は、図 1 3 の縦方向走査処理 S 5 4 または横方向走査処理 S 5 6 により得られた暫定頂点 V_e の x 座標値 i_e 、y 座標値 j_e をそれぞれ変数 i 、 j に代入し (S 1 0 0)、暫定頂点 V_e を中心とする所定のサイズの頂点周辺画像を抽出する (S 1 1 0)。この頂点周辺画像として、図 2 0 (a) に示した暫定頂点 V_e を中心とする縦横 N 画素の検査領域 8 0 を用いることができる。

【0109】

次に、フーリエ変換処理部 4 6 は、暫定頂点 V_e の位置ずれを検出するために、頂点周辺画像と同一サイズの参照画像を設定する (S 1 1 2)。この参照画像として、図 2 0 (b) に示した原画像領域 2 0 の頂点 A を中心とする縦横 N 画素の検査領域 8 0 を用いることができる。原画像の 4 隅の画像を何らかの形で事前に取得しておき、余白部分が白色の場合、4 隅の画像を背景が白地の画像に貼り付けることで、図 2 0 (b) の参照画像を生成することができる。あるいは、図 2 0 (b) の参照画像は、白地の背景に図 2 0 (a) の原画像領域 2 0 の輝度値と実質的に同一な輝度値をもつ画像を人工的に生成して貼り付けることにより生成してもよい。

40

【0110】

フーリエ変換処理部 4 6 は、頂点周辺画像と参照画像のそれぞれにフーリエ変換処理を施す (S 1 1 4)。位相角算出部 4 7 は、頂点周辺画像と参照画像のそれぞれのフーリエ変換の最低水平周波数成分すなわち (1, 0) 成分の位相角 α_1 、 α_2 を算出する (S 1

50

16)。また、位相角算出部47は、頂点周辺画像と参照画像のそれぞれのフーリエ変換の最低垂直周波数成分すなわち(0, 1)成分の位相角 β_1 、 β_2 を算出する(S118)。

【0111】

頂点位置ずれ調整部48は、暫定頂点V_eのy軸方向の位置ずれd i f f _ yを $(\alpha_2 - \alpha_1) / (2\pi / N)$ により算出し(S120)、暫定頂点V_eのx軸方向の位置ずれd i f f _ xを $(\beta_2 - \beta_1) / (2\pi / N)$ により算出する(S122)。

【0112】

頂点位置ずれ調整部48は、変数iからx軸方向のずれd i f f _ xを減算し、変数jからy軸方向のずれd i f f _ yを減算することにより、最終検出頂点V_fの座標(i, j)を求める(S124)。ここで、x軸方向のずれd i f f _ x、y軸方向のずれd i f f _ yは、真の頂点のx、y座標からのずれの方向により正負の符号がつけられた整数値であるとする。

【0113】

図21は、頂点周辺画像と参照画像のフーリエ変換の低周波数成分の位相角の関係を説明する図である。同図は、頂点周辺画像と参照画像のフーリエ変換の最低水平周波数成分すなわち(1, 0)成分を実軸R_eと虚軸I_mからなる座標系の単位円上の点で示したものであり、頂点周辺画像のフーリエ変換の(1, 0)成分120の位相角は α_1 、参照画像のフーリエ変換の(1, 0)成分122の位相角は α_2 であり、位相差 $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ が生じる。この位相差は、暫定頂点V_eが真の頂点の位置からy軸方向にd i f f _ jだけずれていることにより生じる。

【0114】

図16(a)～(d)で既に説明したように、画像上のk画素のずれは、フーリエ変換後の空間では ω_k の位相差として現れ、最低周波数成分については、角周波数 $\omega = 2\pi / N$ であるから、位相差を $(2\pi / N)$ で除算することにより、位置ずれkを算出することができる。すなわち、暫定頂点V_eのy軸方向のずれd i f f _ jは位相差 $\Delta\alpha$ を $(2\pi / N)$ で除算することで求められる。同様に、暫定頂点V_eのx軸方向のずれd i f f _ iについては、頂点周辺画像と参照画像のフーリエ変換の最低垂直周波数成分である(0, 1)成分の位相角 β_1 、 β_2 を求め、その位相差 $\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$ を $(2\pi / N)$ で除算することで求められる。

【0115】

また、上記のように頂点周辺画像と参照画像の両方を利用することにより、撮影部30による撮影時のノイズ等による悪影響を除去することができる。

【0116】

以上、画像領域判定処理S12の詳細な手順を図9～図21で説明した。上記の縦方向走査処理S54および横方向走査処理S56では、検査領域の画像のフーリエ変換の低周波数成分を評価することによりエッジを検出したが、エッジ検出フィルタを用いてエッジを検出してもよい。以下、エッジ検出フィルタによるエッジ検出手順を説明する。

【0117】

縦横N画素の検査領域に対して、横方向のエッジ、縦方向のエッジを検出するためのフィルタを設定し、畳み込み演算を利用したフィルタ演算の出力値を求める。ここではN=4の場合を説明する。検査領域の画像(以下、入力信号ともいう)をx(i, j)とし、フィルタ演算による出力信号をy(m, n)とする。またエッジ検出フィルタをh(i, j)とする。フィルタ演算を次式のタップ数L=4の畳み込み演算で行う。

$$y(m, n) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 h(m-i, n-j) x(i, j)$$

【0118】

図22(a)～(c)は、エッジ検出フィルタh(i, j)と入力信号x(i, j)の例を説明する図である。図22(a)は、横方向のエッジを検出するフィルタh(i, j)と、そのフィルタを用いた畳み込み演算によるレスポンスが最も大きくなる入力信号x(i, j)を示す。ここで、エッジの方向は、エッジラインに垂直な方向に定義されてい

10

20

30

40

50

ることに注意する。

【0119】

図22(b)は、縦方向のエッジを検出するフィルタ $h(i, j)$ と、そのフィルタを用いた畳み込み演算によるレスポンスが最も大きくなる入力信号 $x(i, j)$ を示す。図22(c)は、左上の頂点を検出するフィルタ $h(i, j)$ と、そのフィルタを用いた畳み込み演算によるレスポンスが最も大きくなる入力信号 $x(i, j)$ を示す。

【0120】

図23は、エッジ検出フィルタによる縦方向走査処理S54を説明するフローチャートである。なお、ここでは、左上の頂点Aを検出場合を説明する。エッジ検出フィルタの出力信号の閾値を設定する(S130)。頂点探索開始点 V_s の x 座標値 i から走査幅 d の $1/2$ を減算して、エッジの走査開始点を設定する(S132)。

10

【0121】

エッジ追跡部44は、検査点 $V(i, j)$ を中心とする縦横 N 画素の領域の2次元画像信号に対して、タップ数 L の横方向エッジ検出フィルタによる畳み込み演算を計算し、2次元出力信号 y_1 を求める(S134)。ここでタップ数 L は画素数 N に等しい。

【0122】

2次元出力信号 y_1 の値が閾値以下である場合(S136のN)、 x 座標値 i を1だけインクリメントして、検査領域を x 軸方向にシフトさせ(S138)、ステップS134のフィルタ演算を繰り返す。

【0123】

2次元出力信号 y_1 の値が閾値を超えた場合(S136のY)、横方向のエッジが検出されたと判定し、次に、点 (i, j) を中心とした2次元画像信号に対して、タップ数 L の縦方向エッジ検出フィルタによる畳み込み演算を計算し、2次元出力信号 y_2 を求める(S140)。

20

【0124】

2次元出力信号 y_2 の値が閾値を超えた場合(S142のY)、縦方向走査処理を終了しリターンする。2次元出力信号 y_2 の値が閾値以下である場合(S142のN)、 y 座標値 j をタップ L だけデクリメントして、左上の頂点Aを探索するために、検査領域を上向きにシフトさせ(S144)、ステップS132以降のエッジ検出を継続する。

【0125】

なお、図23では、左上の頂点Aを縦方向に探索して検出する場合を説明した。左下の頂点Bを検出する場合は、ステップS144において、検査点 V の y 座標値 j が L だけインクリメントされるように変更する。また、右上の頂点Cを検出する場合は、ステップS132において、検査点 V の x 座標値 i が $i+d/2$ に設定され、ステップS138において、検査点 V の x 座標値 i が1だけデクリメントされるように変更する。また、右下の頂点Dを検出する場合は、ステップS132において、検査点 V の x 座標 i が $i+d/2$ に設定され、ステップS138において、検査点 V の x 座標値 i が1だけデクリメントされ、ステップS144において、検査点 V の y 座標値 j が L だけインクリメントされるように変更する。

30

【0126】

エッジ検出フィルタによる横方向走査処理S56についても、検出するエッジ方向と走査方向を変えれば、同様の手順で実施することができる。

40

【0127】

なお、図22(c)に示した頂点を検出するためのフィルタを用いれば、エッジ検出フィルタで頂点を検出することもできる。しかしながら、エッジ検出フィルタによる方法は、ノイズに弱いため、頂点の正確な位置を特定するには、フーリエ変換の低周波数成分を用いて位相差から位置ずれを求める方法が有効である。

【0128】

以上述べたように、実施の形態の電子透かし抽出装置200では、撮影画像に含まれる原画像領域を判定する際、検査領域を空間周波数領域に変換し、変換後の信号の位相角に

50

基づいて、原画像領域の頂点を高精度に求めることができる。空間周波数領域に変換したときの低周波数成分を利用するため、撮影画像に撮影による画像の歪みやノイズがある場合でも、正確に頂点を求めることができる。電子透かし抽出装置 200 は、このようにして原画像領域を正確に抽出した上で、撮影による歪みを補正し、補正された原画像領域から電子透かしを抽出するため、透かしの検出精度が向上する。

【0129】

以上、本発明を実施の形態をもとに説明した。実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組み合わせにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

【0130】

そのような変形例として、上記の説明では、原画像領域 20 の 4 頂点をすべて特定し、4 頂点の座標値をもとに原画像領域 20 を抽出したが、原画像領域 20 の対角線上にある 2 頂点のみを求めるように構成してもよい。撮影領域 26 の撮影による歪みが左右対称であるなら、対角線上にある 2 頂点の座標値から線対称を仮定して原画像領域 20 を抽出することが可能である。また、撮影画像の歪みが撮影機器のレンズによるものだけであるなら、原画像領域 20 のいずれかひとつの頂点のみを特定し、レンズ歪みが撮影領域 26 の中心に関して点対称であることを利用して、原画像領域 20 を抽出することも可能である。

【0131】

上記の説明では、原画像領域 20 を抽出するために、フーリエ変換後の信号の位相角を利用して、原画像領域 20 の各頂点の座標値を高い精度で求めたが、同じ位相角を用いた方法で、原画像領域 20 の各辺を高い精度で求めてもよい。撮影による歪みにより原画像領域 20 の各辺は歪曲している。原画像領域 20 の各辺を正確に特定することで、原画像領域 20 をより厳密に抽出し、歪み補正の精度を高めることができる。

【0132】

上記の透かし検出処理において、透かし検出に失敗した場合、画像領域判定部 32 は、エッジ検出フィルタの閾値などのパラメータを変えて、原画像領域 20 の判定処理を再度行ってもよい。また、透かし検出に失敗した場合、画像補正部 34 が撮影部 30 に印刷画像 P の再撮影を要求してもよい。

【0133】

なお上記実施例では、エッジ検出フィルタ部 42 は Prewitt オペレータを用いてエッジラインとエッジ方向を検出していたが、これに代えて、フーリエ変換フィルタを用いてエッジラインとエッジ方向を検出するものであっても良い。

【0134】

図 24 のフローチャートを参照して、フーリエ変換フィルタを用いたエッジライン及びエッジ方向の検出手順を説明する。なお、図 24 において、図 10 のエッジ検出処理 S20 の手順を示すフローチャートと処理を同じくする処理ステップについては同じステップ番号を割り当て、かかる処理ステップについての説明は省略する。

【0135】

ステップ S204 では、検査点 (i, j) を中心とした縦横 N 画素の検査領域 80 の輝度値に係る 2 次元 FFT が行われる。ここでは N は 2 のべき乗に相当する数 (8、16、64 等) である。

【0136】

ステップ S205 では、 $H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ 、 $H_i(1, 0)$ 、 $H_i(0, 1)$ の値が取得される。ここで $H_r(x, y)$ 、 $H_i(x, y)$ の定義は、エッジ追跡部 44 の処理に関する説明で定義したものと同一である。

【0137】

ステップ S206 では、上記 $H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ 、 $H_i(1, 0)$ 、 $H_i(0, 1)$ の全てが 0 であるかどうか判断される。検査領域 80 内の全ての画素の輝度値は同じである場合、上記 4 変数は全てが 0 になる。ステップ S36 で取得した走査開始

10

20

30

40

50

点が余白領域であるならば、ステップ S 2 0 6 で $y e s$ と判定された場合は、検査領域 8 0 内は全て余白領域である。このとき、ステップ S 3 8 において、検査点の x 座標値 i にアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を加算し、 y 座標値 j に 1 を加算して、ステップ S 2 0 4 に戻り、探索を続ける。

【0138】

ステップ S 2 0 6 において、上記 4 変数のいずれかが 0 ではないと判断されたら、検査領域 8 0 内に余白領域と原画像領域 2 0 のエッジがあるものと判断される。

【0139】

ステップ S 2 0 9 では、 $H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ の両方が 0 であるかどうか判断される。検査点 (i, j) が余白領域と原画像領域 2 0 のエッジ上にある場合、この両方の変数が 0 になる。 $H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ の少なくとも一方が 0 でない場合 (S 2 0 9 の N)、ステップ S 3 8 において、検査点の x 座標値 i にアスペクト比 $w i d t h / h e i g h t$ を加算し、 y 座標値 j に 1 を加算して、ステップ S 2 0 4 に戻り、探索を続ける。

【0140】

$H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ の両方が 0 である場合 (S 2 0 9 の Y)、ステップ S 2 1 0 において、 $H_i(1, 0)$ が 0 であるかどうか判断される。 $H_i(1, 0)$ が 0 である場合 (S 2 1 0 の Y)、前記エッジの方向が水平方向 (x 軸方向) であると判断される (S 2 1 1)。 $H_i(1, 0)$ が 0 でない場合 (S 2 1 0 の N)、ステップ S 2 0 6 において 4 変数 $H_r(1, 0)$ 、 $H_r(0, 1)$ 、 $H_i(1, 0)$ 、 $H_i(0, 1)$ のいずれかが 0 でなかったことから、 $H_i(0, 1)$ が 0 であることがわかり、前記エッジの方向が垂直方向 (y 軸方向) であると判定される (S 2 1 2)。このようにして、フーリエ変換フィルタを用いても、エッジラインとエッジ方向を検出することができる。

【0141】

また、上記実施例では、エッジ追跡部 4 4 が縦方向のエッジ走査処理 (S 5 4) を行う際、検査点 V を x 方向に走査させつつ $H_r(1, 0)$ の値を評価することにより余白領域と原画像領域 2 0 のエッジ位置を特定していた。これに代えて、 $H_r(1, 0)$ と $H_i(1, 0)$ から導かれる $H(1, 0)$ の位相角、すなわち $\arctan [H_i(1, 0) / H_r(1, 0)]$ が検査点とエッジ位置からの距離に比例する性質を利用して、前記位相角に基づいてエッジ位置を特定するものであっても良い。かかる方法によれば、撮影条件が良好ではない場合はエッジ位置を誤判定するおそれがあるが、検査点 V を x 方向に走査させながらエッジ位置を特定する方法と比較すれば、エッジ位置の特定を高速に行うことができる。

【0142】

上記の実施例は、透かし入り画像の原画像領域 2 0 の頂点の検出に関するものであったが、上記で説明した頂点検出方法は、それ以外の一般的な画像においても適用できるものであり、特に電子透かしの用途に限られない。

【図面の簡単な説明】

【0143】

【図 1】実施の形態に係る電子透かし埋め込み装置の構成図である。

【図 2】図 1 の電子透かし埋め込み装置から出力される印刷画像を説明する図である。

【図 3】実施の形態に係る電子透かし抽出装置の構成図である。

【図 4】図 3 の電子透かし抽出装置により撮影された印刷画像を説明する図である。

【図 5】図 3 の画像領域判定部の詳細な構成を説明する図である。

【図 6】図 5 のエッジ検出部および頂点特定部により原画像領域が判定される様子を説明する図である。

【図 7】原画像領域の撮影による歪みを説明する図である。

【図 8】図 3 の電子透かし抽出装置による電子透かし抽出手順の全体的な流れを示すフローチャートである。

【図 9】図 8 の画像領域判定処理の大まかな流れを示すフローチャートである。

- 【図10】図9のエッジ検出処理の詳細な手順を示すフローチャートである。
- 【図11】エッジ検出フィルタを説明する図である。
- 【図12】エッジ検出フィルタにより原画像領域のエッジが検出される様子を説明する図である。
- 【図13】図9のエッジライン追跡処理の詳細な手順を説明するフローチャートである。
- 【図14】図13の縦方向走査処理の詳細な手順を説明するフローチャートである。
- 【図15】左上の頂点を探索する場合における縦方向走査処理が行われる様子を説明する図である。
- 【図16】検査領域のフーリエ変換の最低水平周波数成分により横方向のエッジが判定される原理を説明する図である。
- 【図17】図14の縦方向走査の停止条件を説明する図である。
- 【図18】図13の横方向走査処理の詳細な手順を説明するフローチャートである。
- 【図19】図9の頂点位置特定処理の詳細な手順を説明するフローチャートである。
- 【図20】暫定頂点の位置ずれを説明する図である。
- 【図21】頂点周辺画像と参照画像のフーリエ変換の低周波数成分の位相角の関係を説明する図である。
- 【図22】エッジ検出フィルタと入力信号の例を説明する図である。
- 【図23】エッジ検出フィルタによる縦方向走査処理を説明するフローチャートである。
- 【図24】フーリエ変換フィルタを用いたエッジライン及びエッジ方向の検出手順を説明するフローチャートである。

10

20

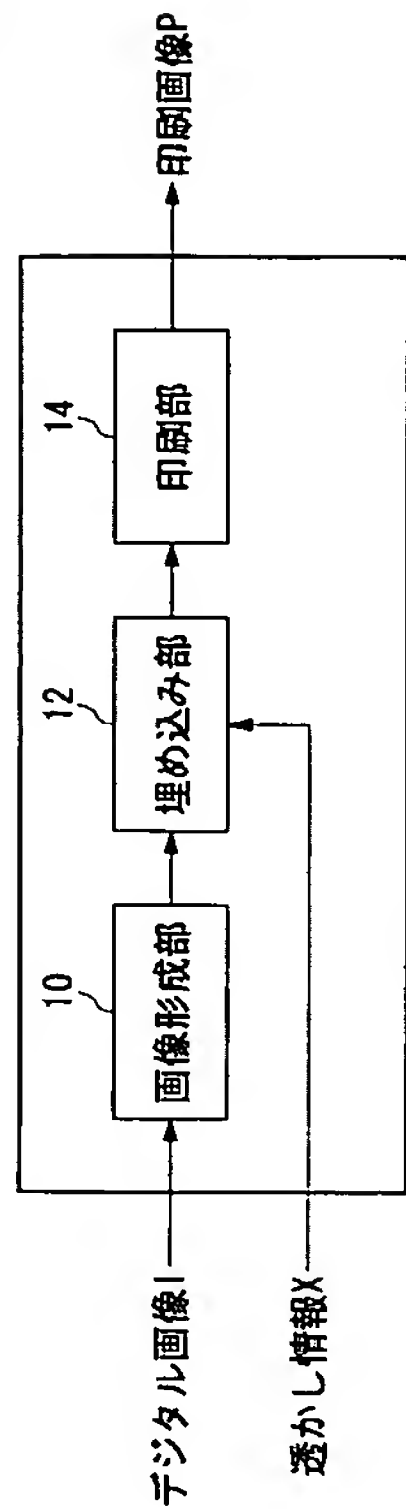
【符号の説明】

【0144】

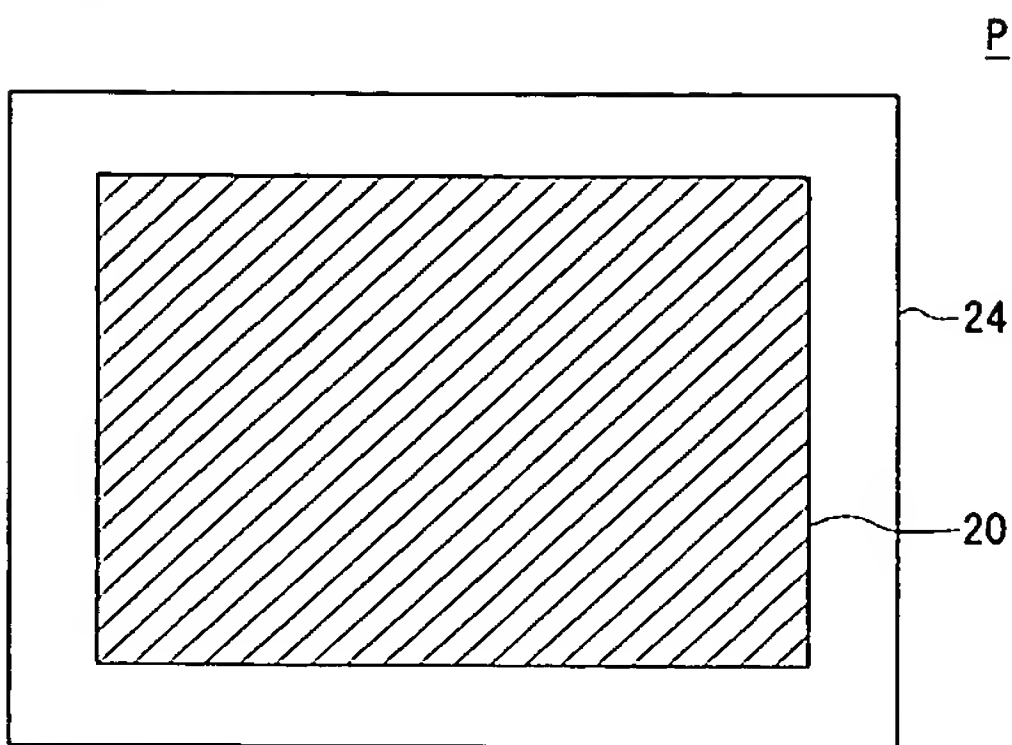
10 画像形成部、 12 埋め込み部、 14 印刷部、 20 原画像領域、 24 印刷媒体、 26 撮影領域、 30 撮影部、 32 画像領域判定部、 34 画像補正部、 36 透かし抽出部、 38 エッジ検出部、 40 頂点特定部、 41 画像領域抽出部、 42 エッジ検出フィルタ部、 44 エッジ追跡部、 46 フーリエ変換処理部、 47 位相角算出部、 48 頂点位置ずれ調整部、 100 電子透かし埋め込み装置、 200 電子透かし抽出装置。

【図1】

100

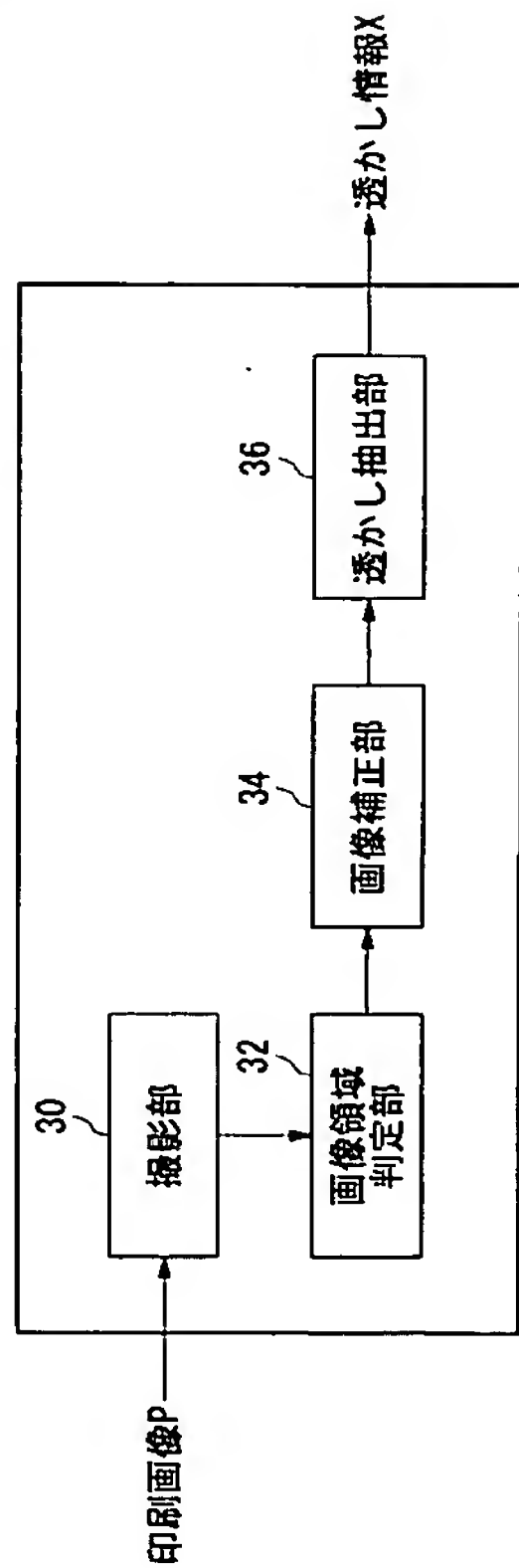


【図2】

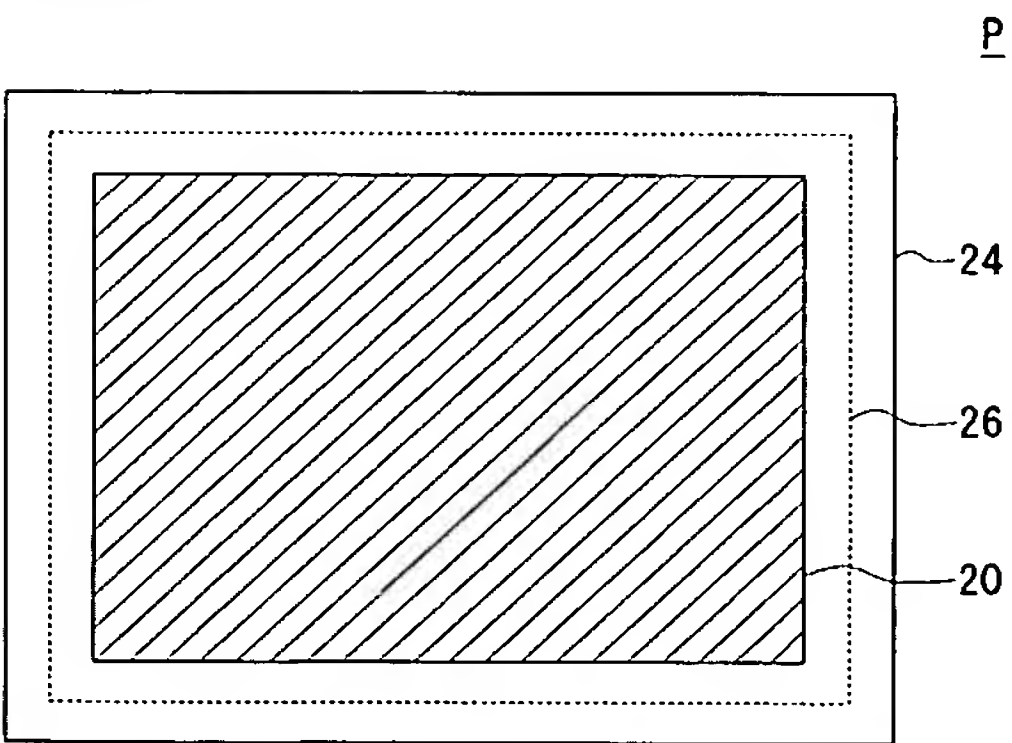


【図3】

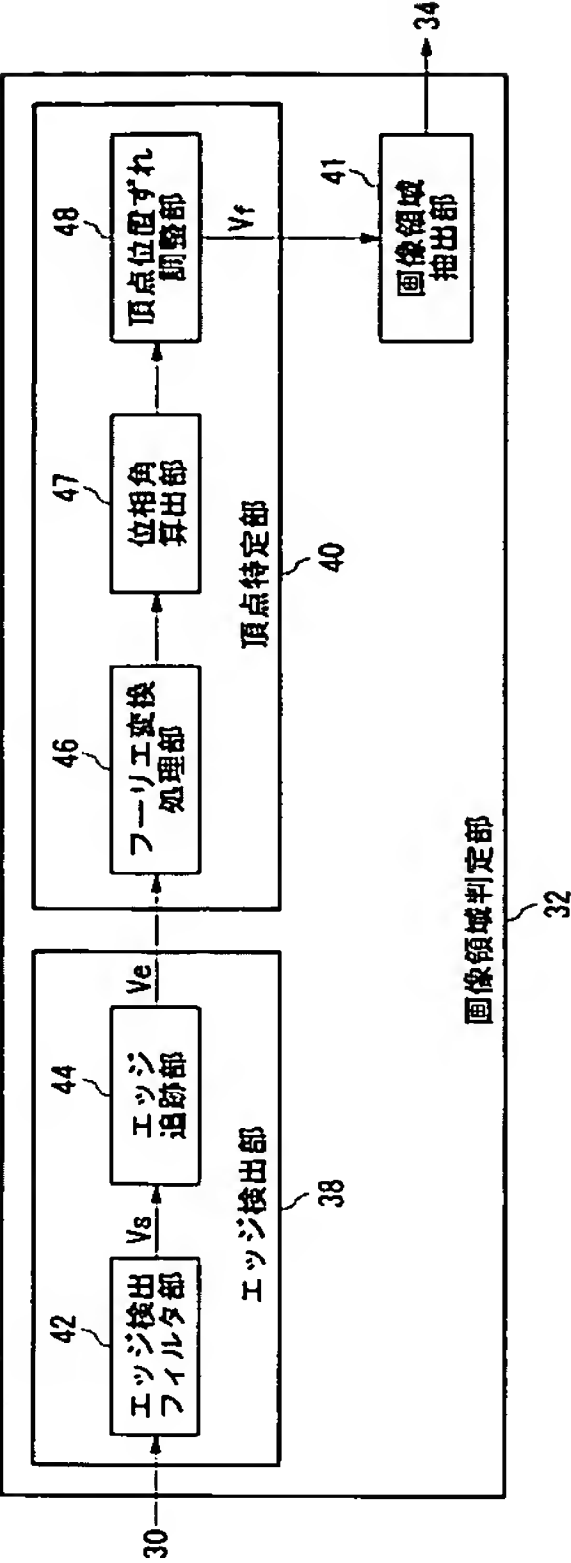
200



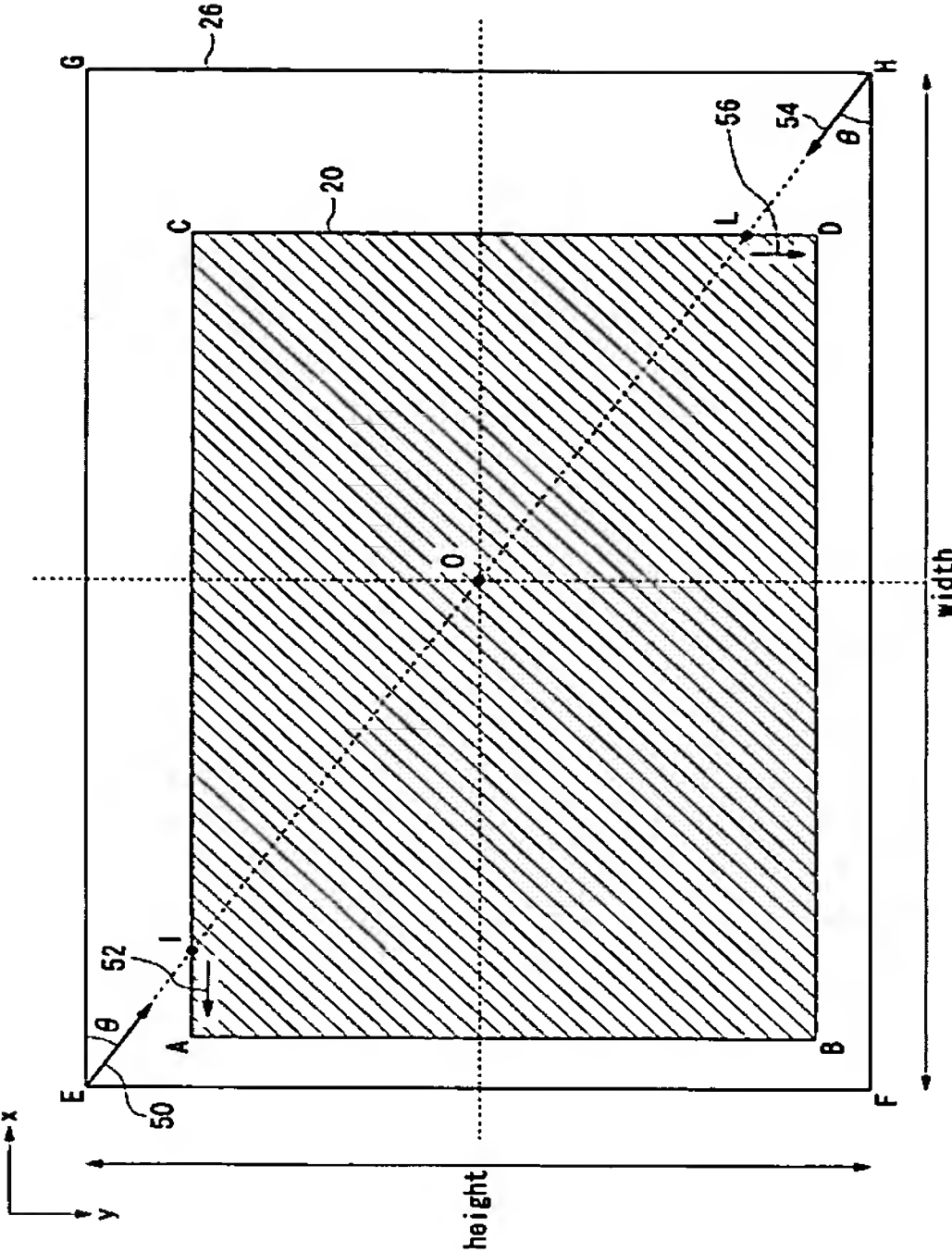
【図4】



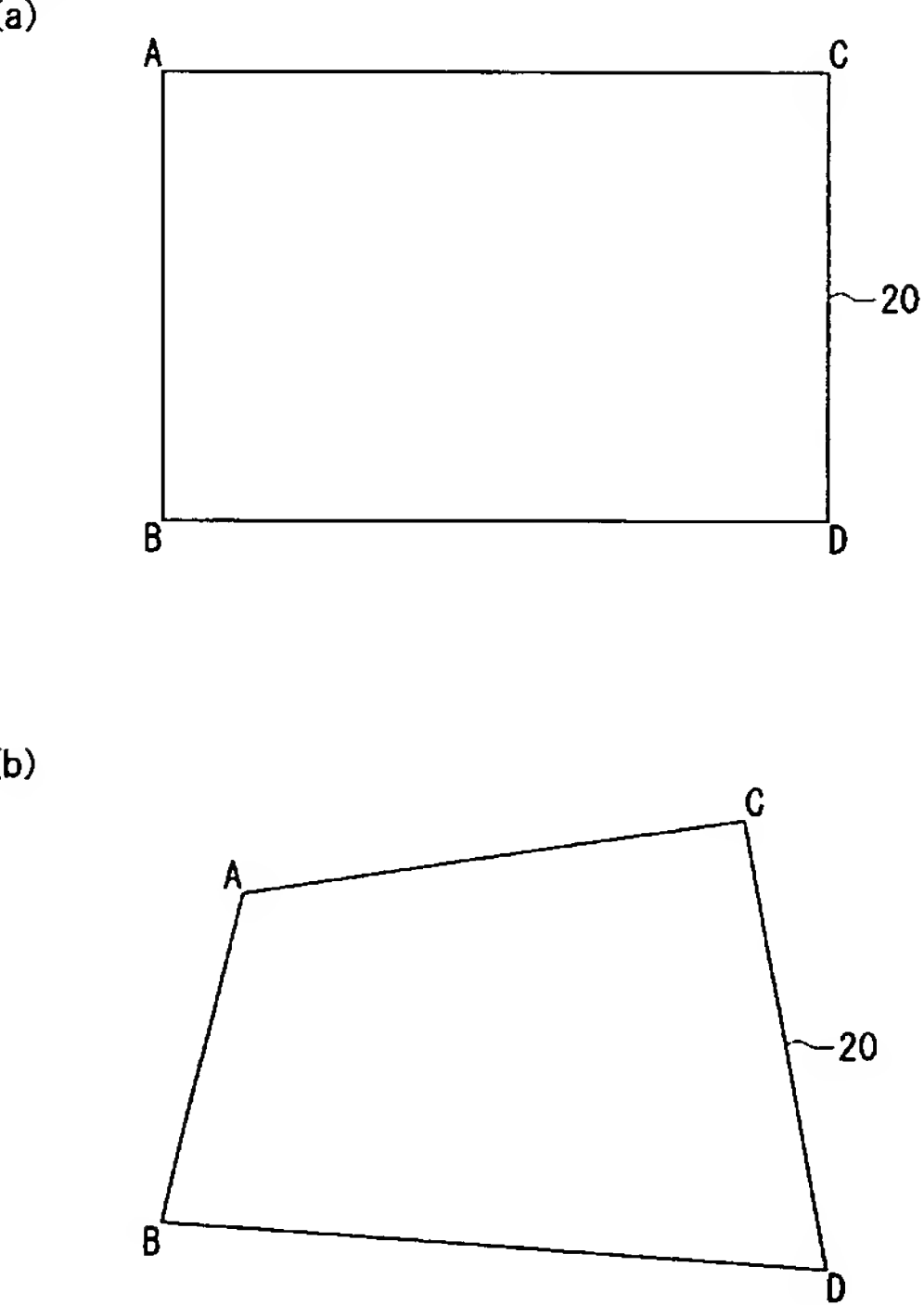
【図5】



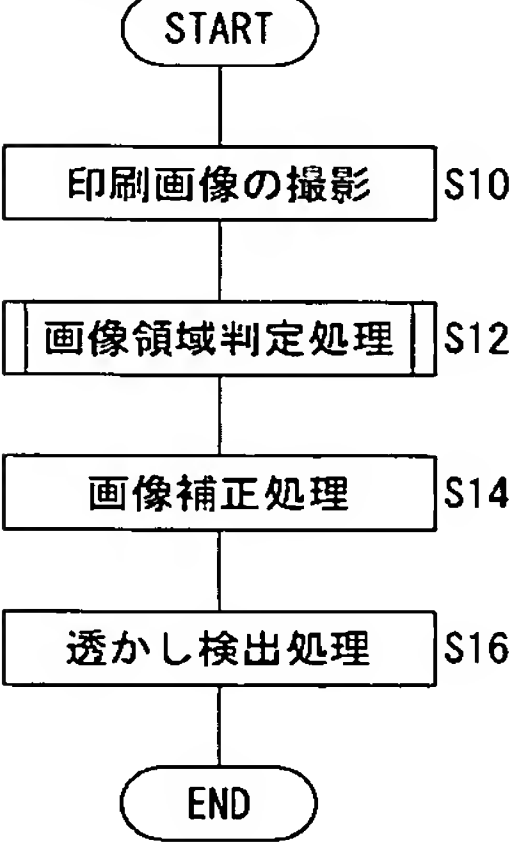
【図6】



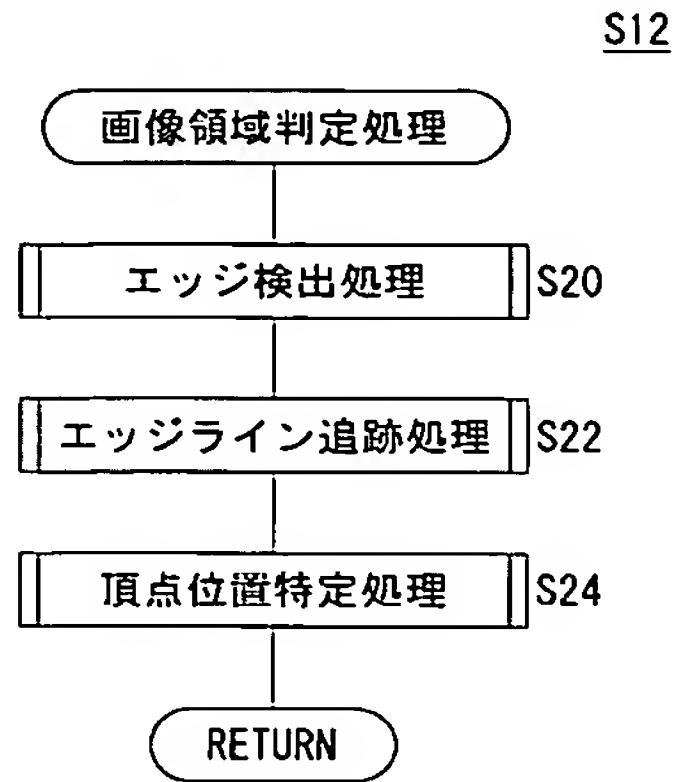
【図7】



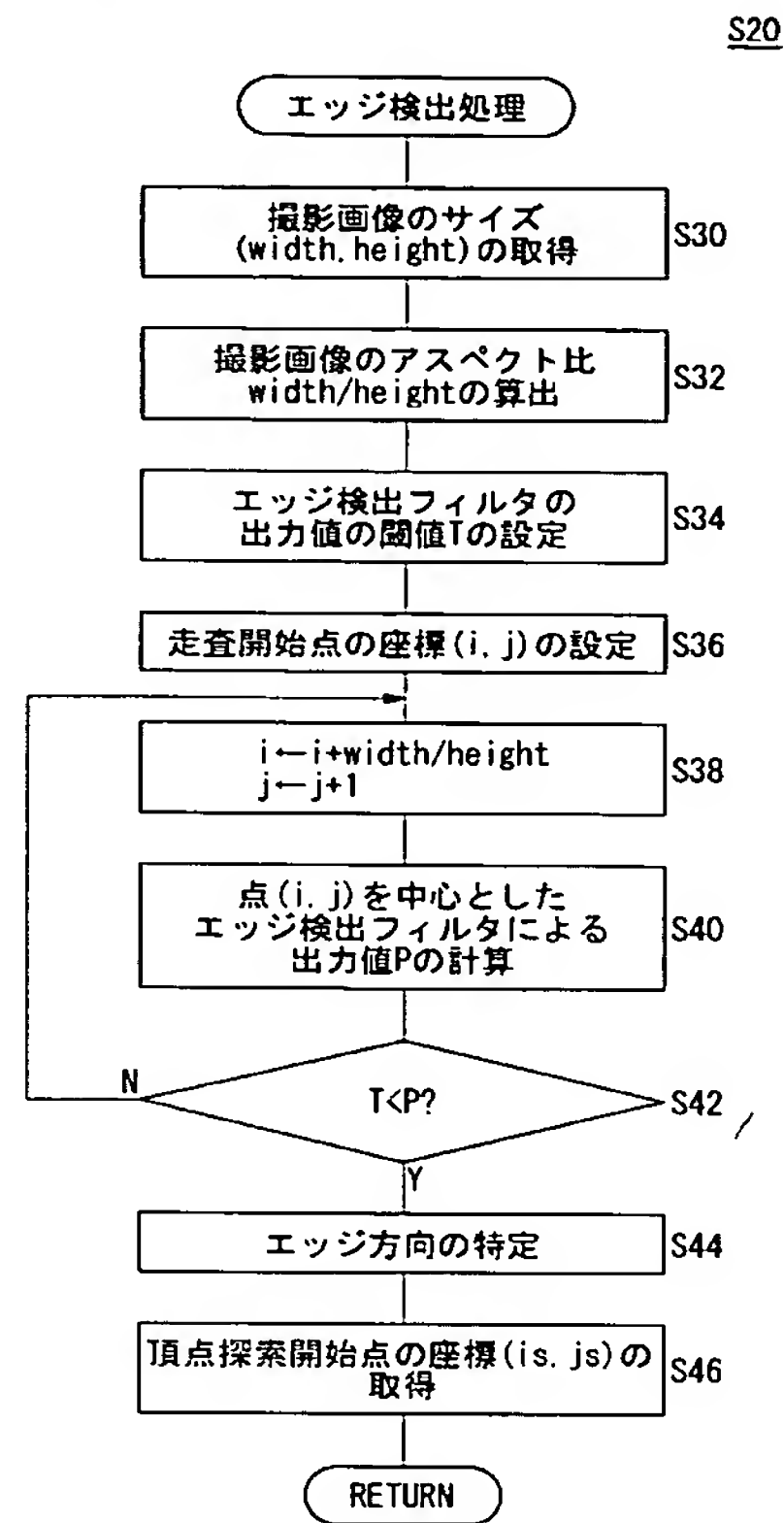
【図8】



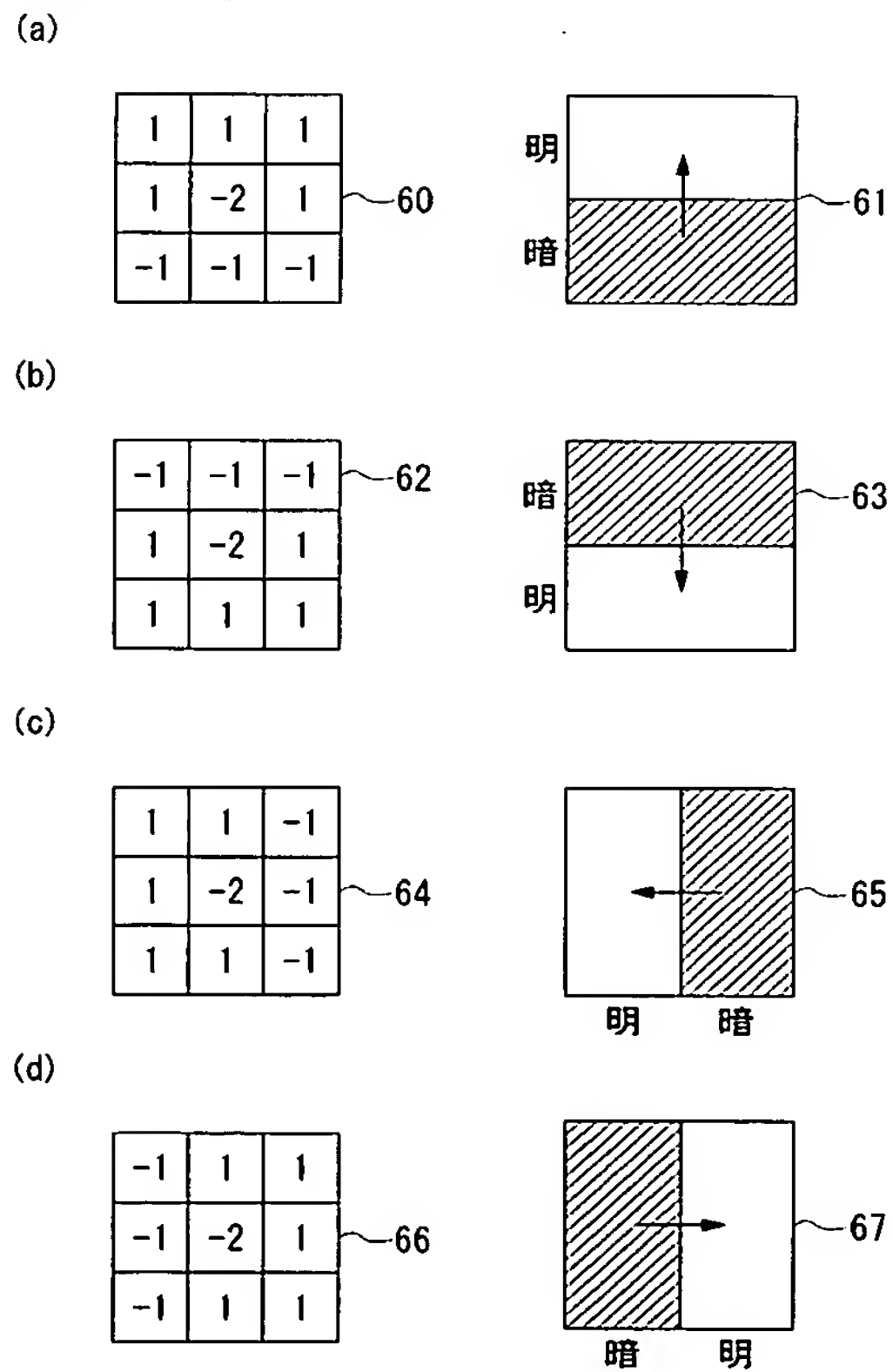
【図 9】



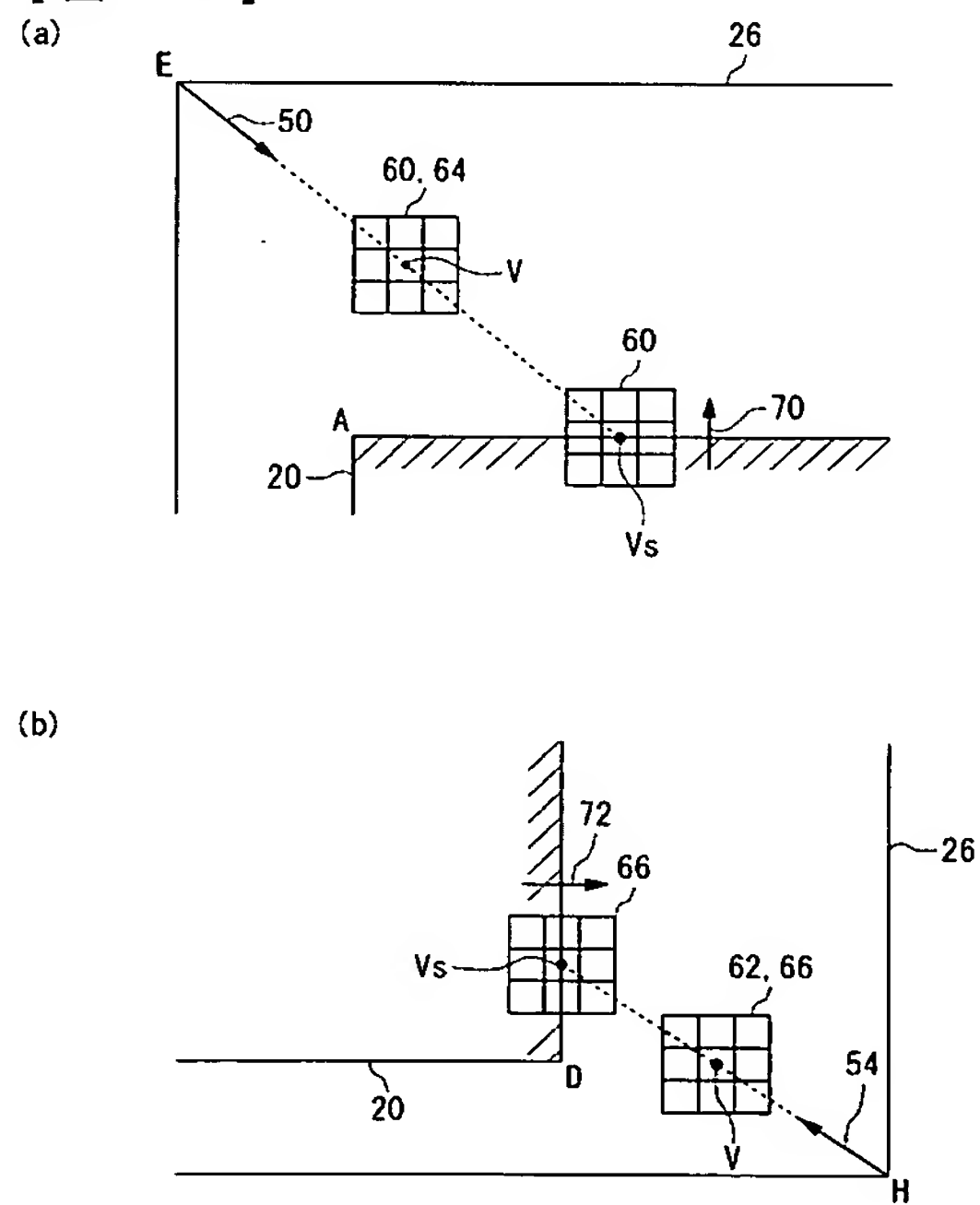
【図 10】



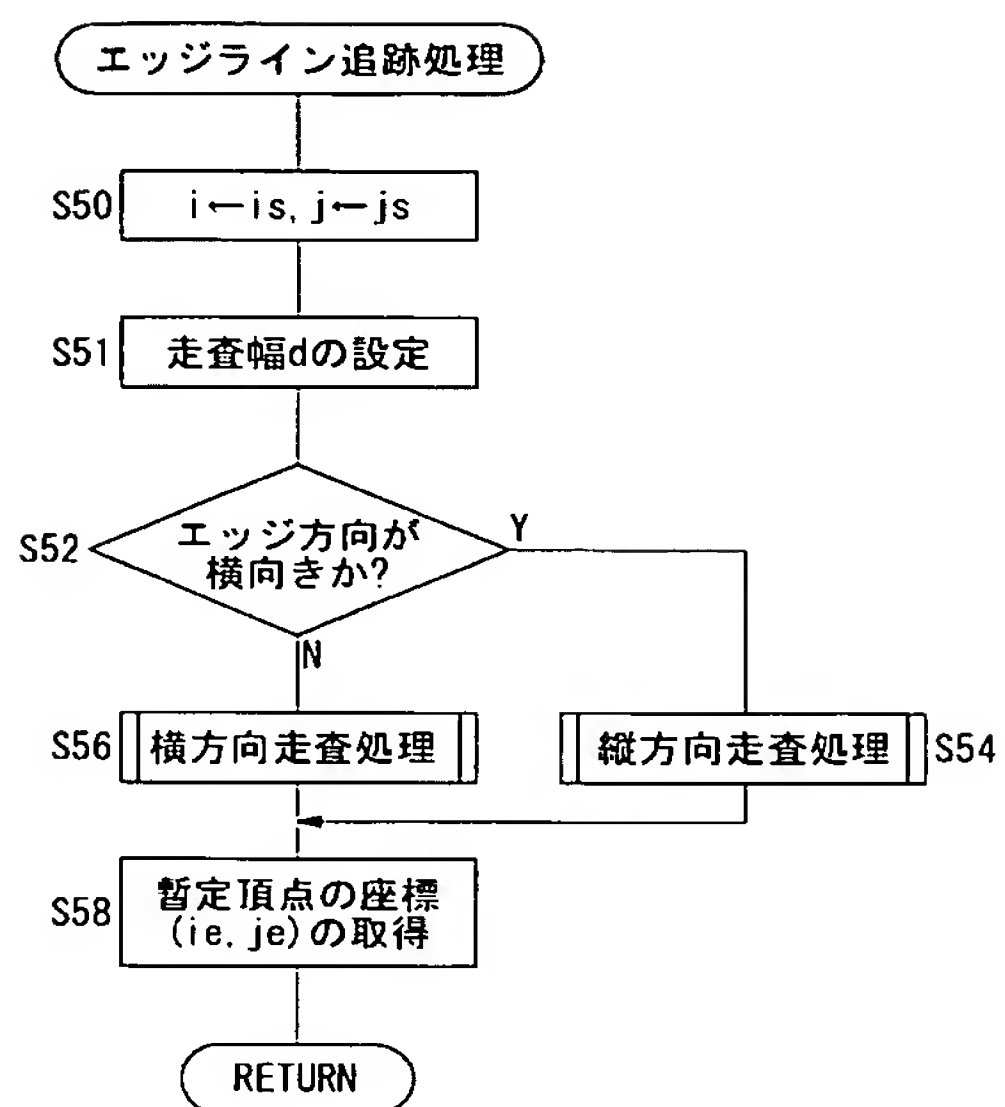
【図 11】



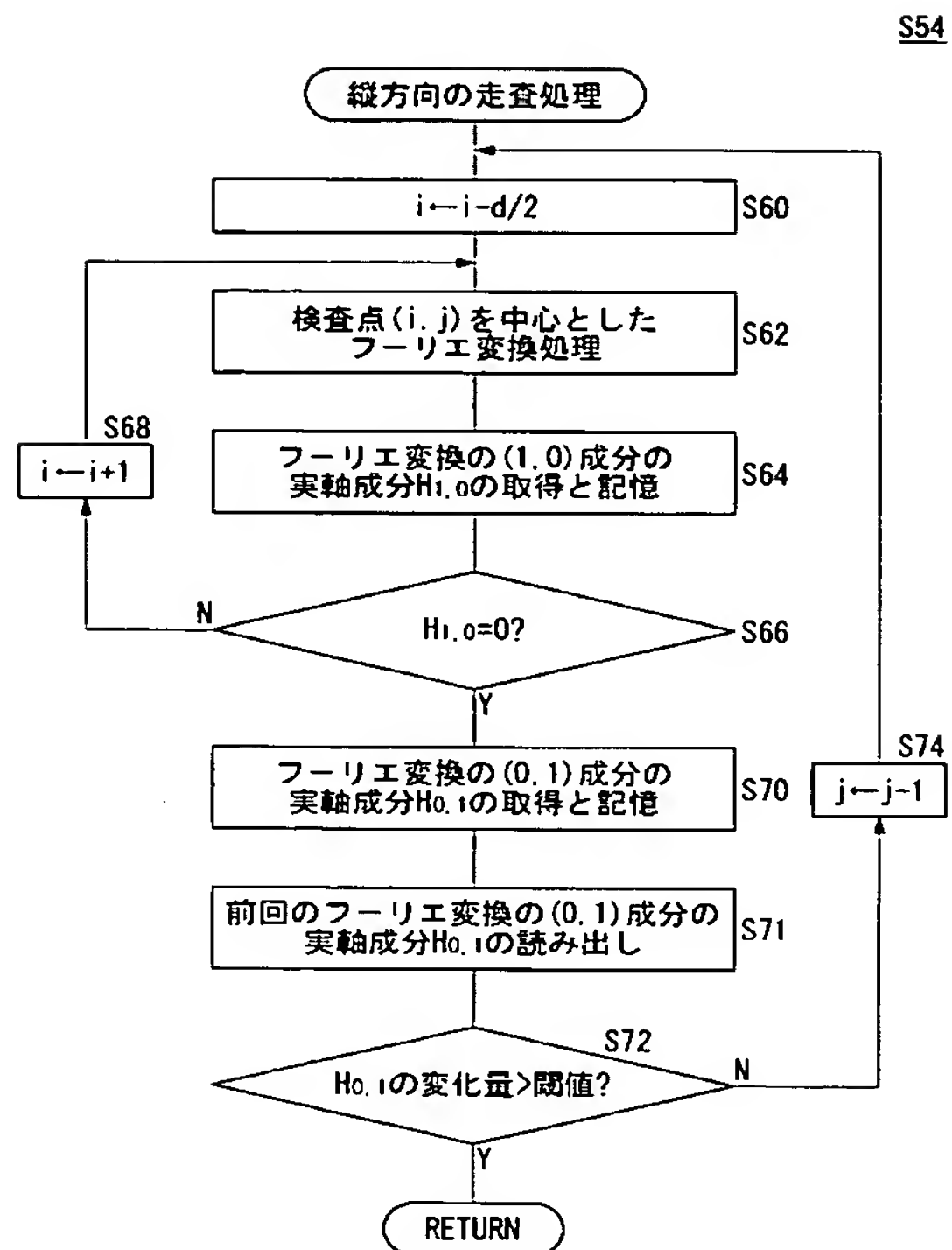
【図 12】



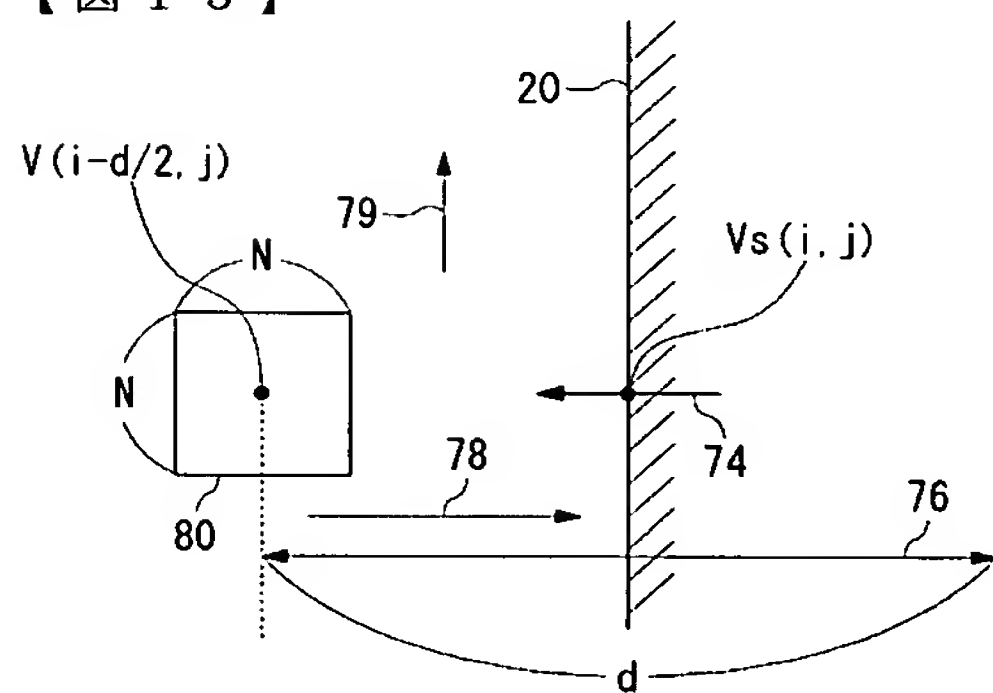
【 図 1 3 】



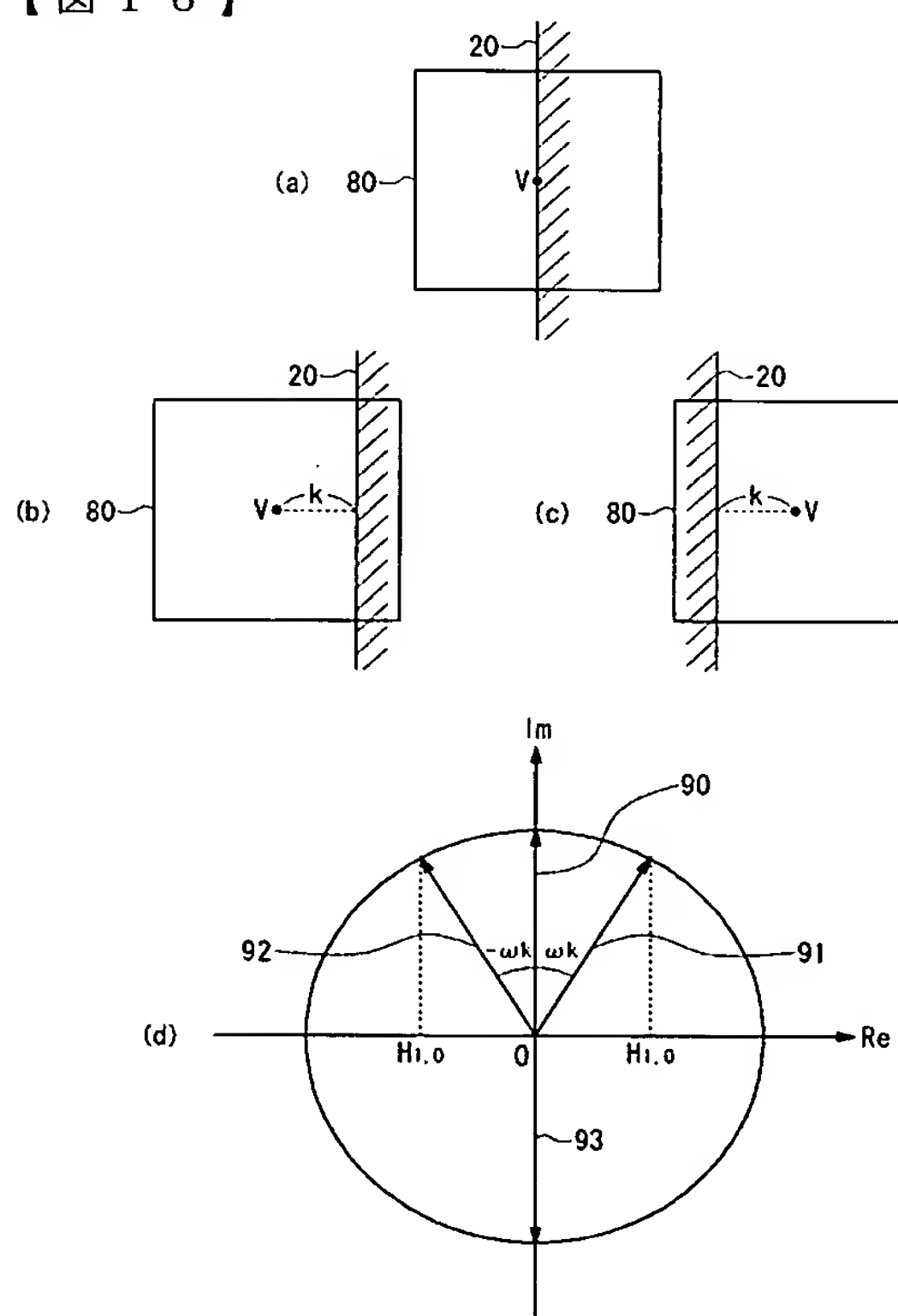
【 図 1 4 】



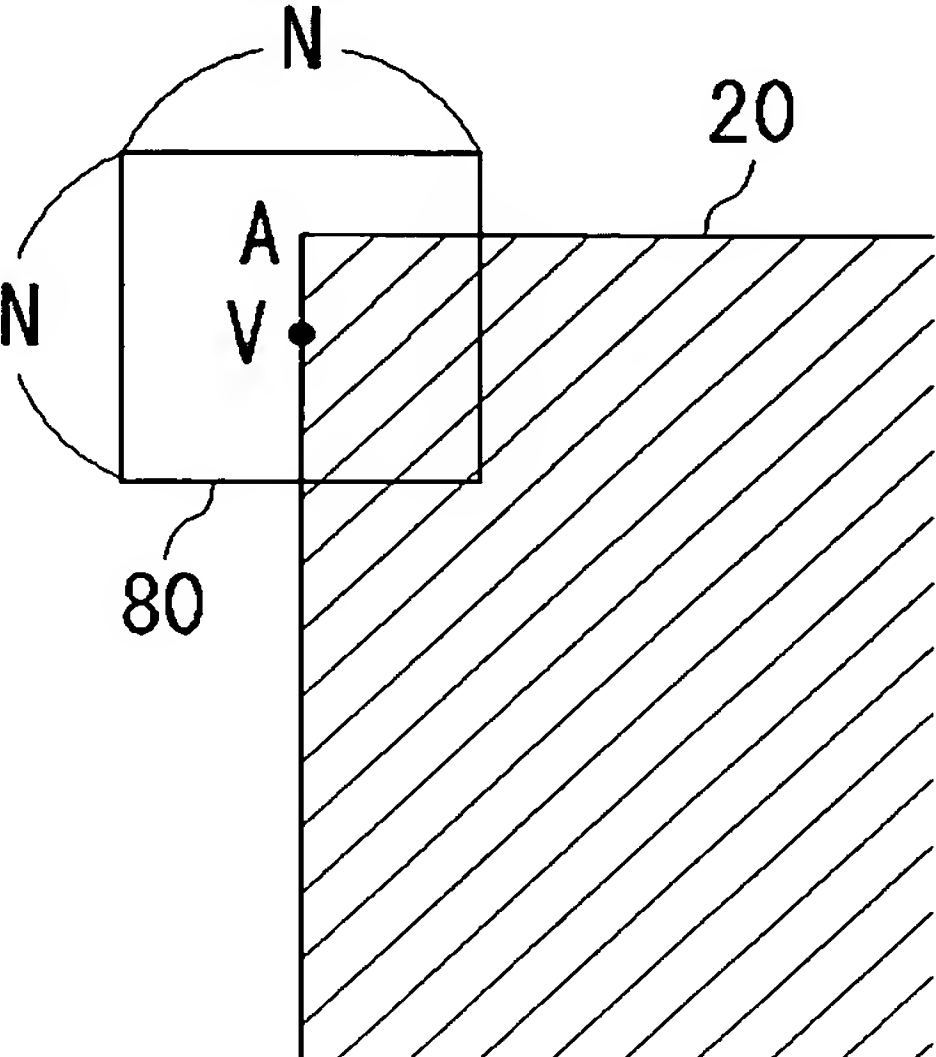
【 図 1 5 】



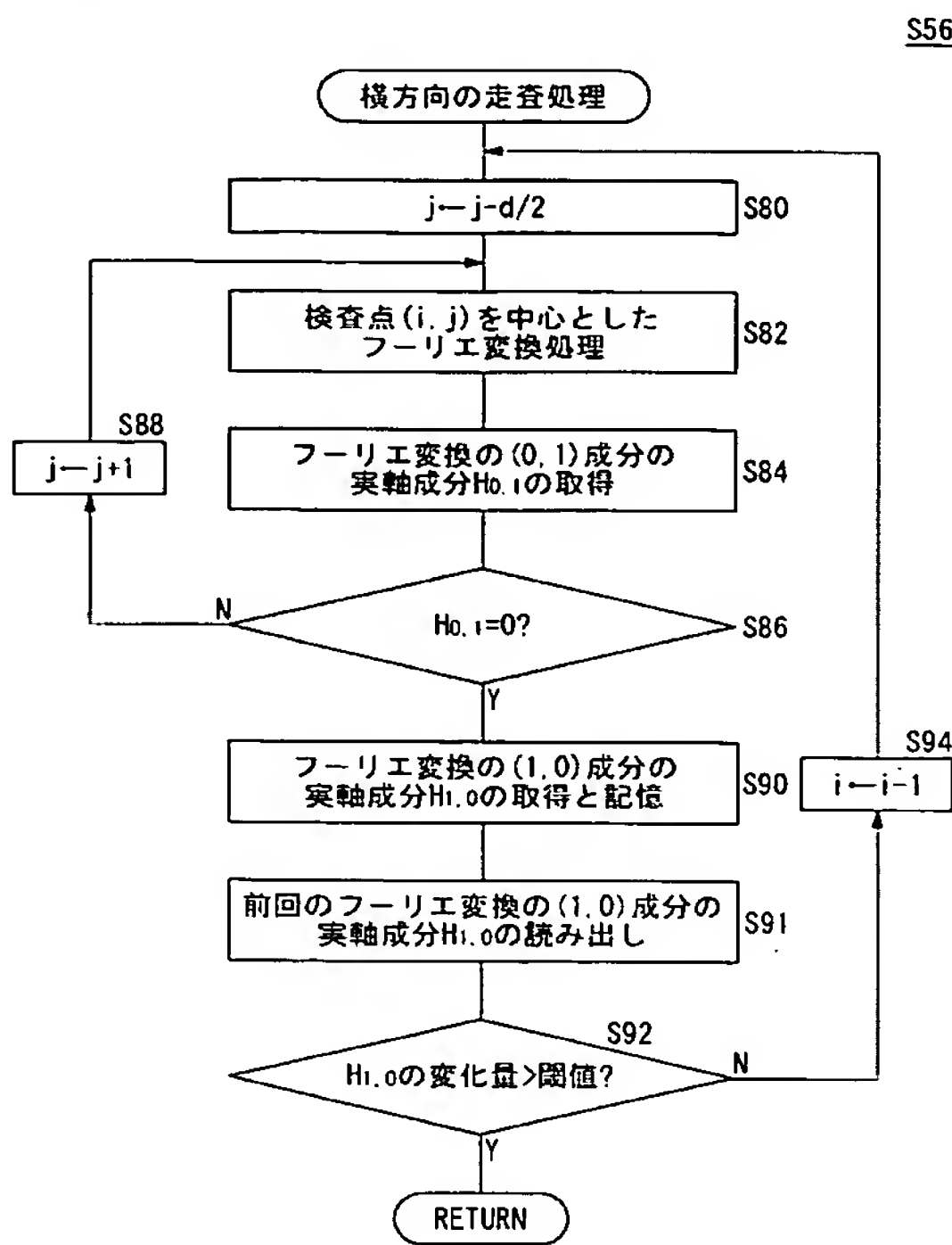
【图 16】



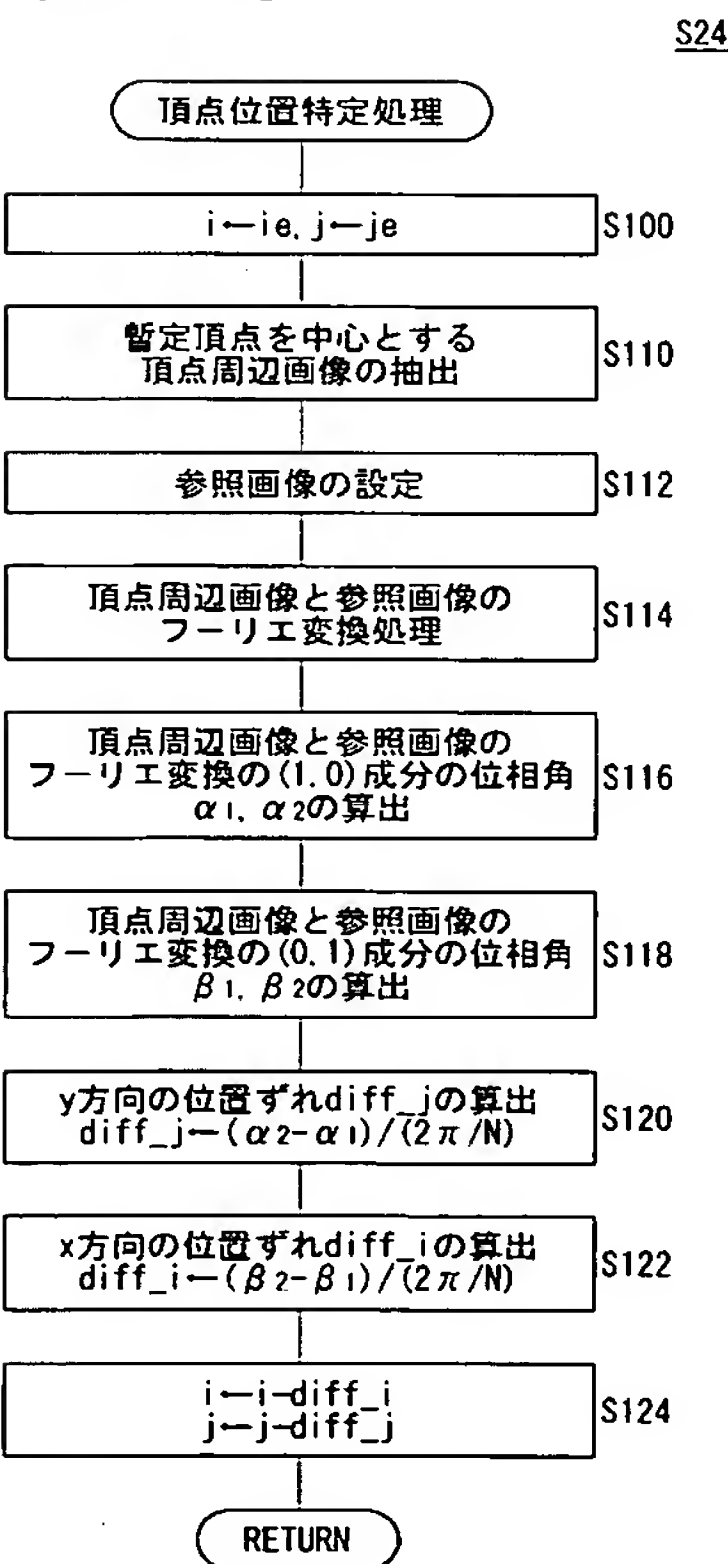
【図 17】



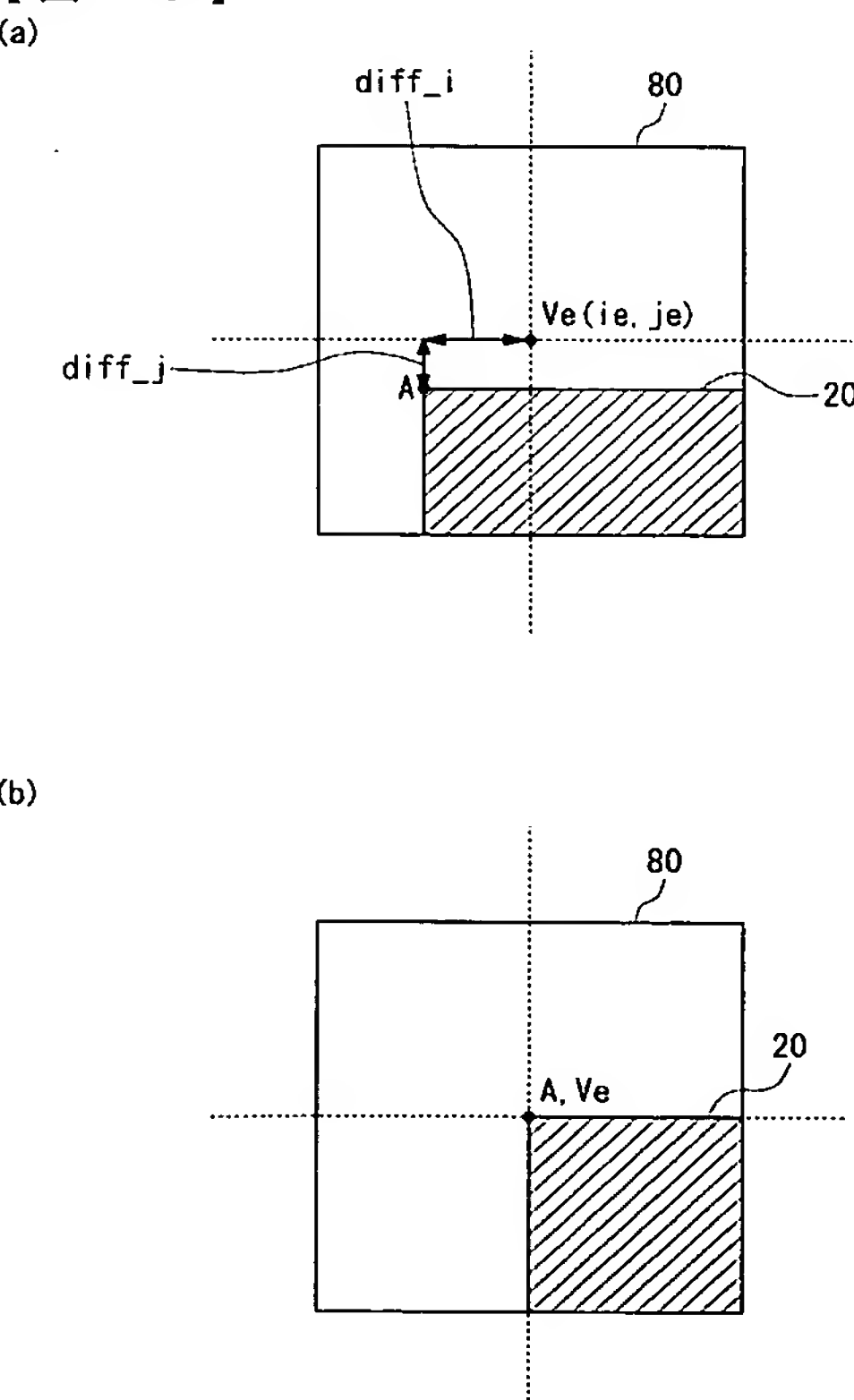
【図 18】



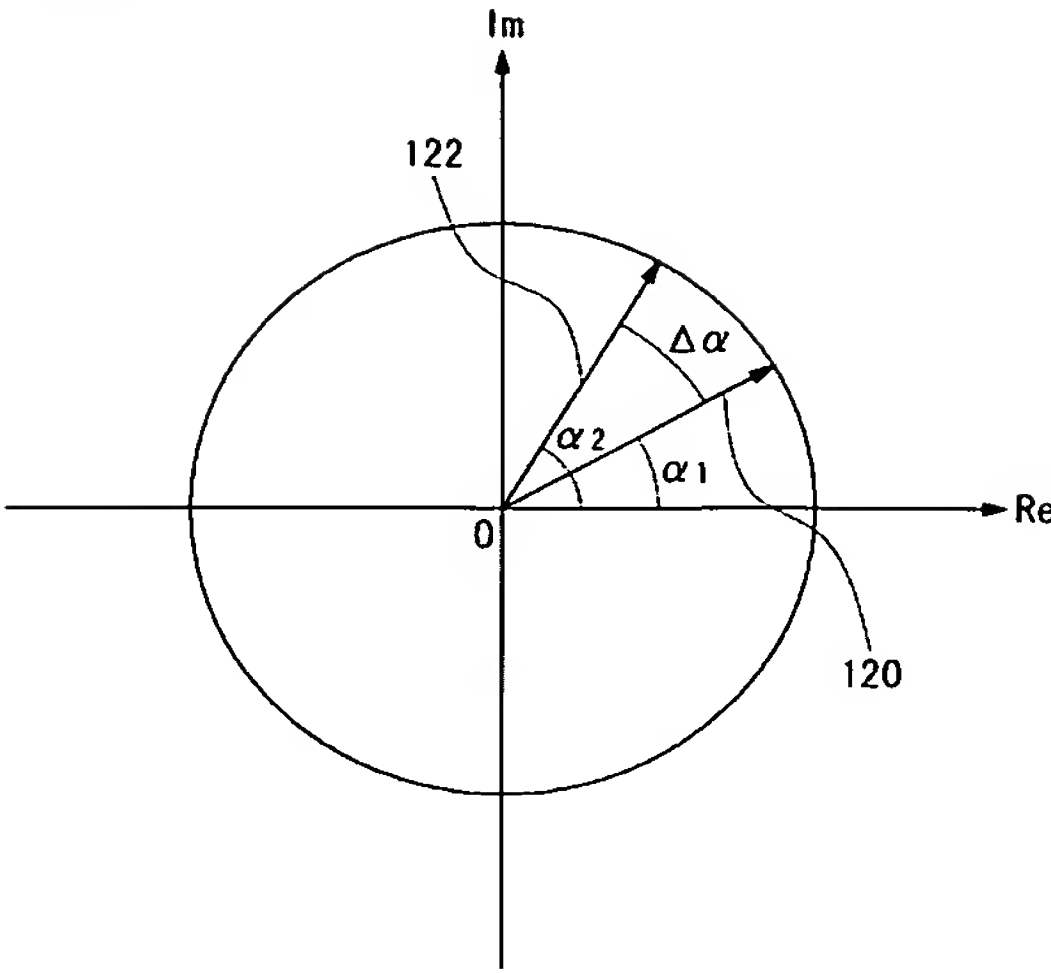
【図 19】



【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2】

(a)

$$h(i, j) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad x(i, j) = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 0 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

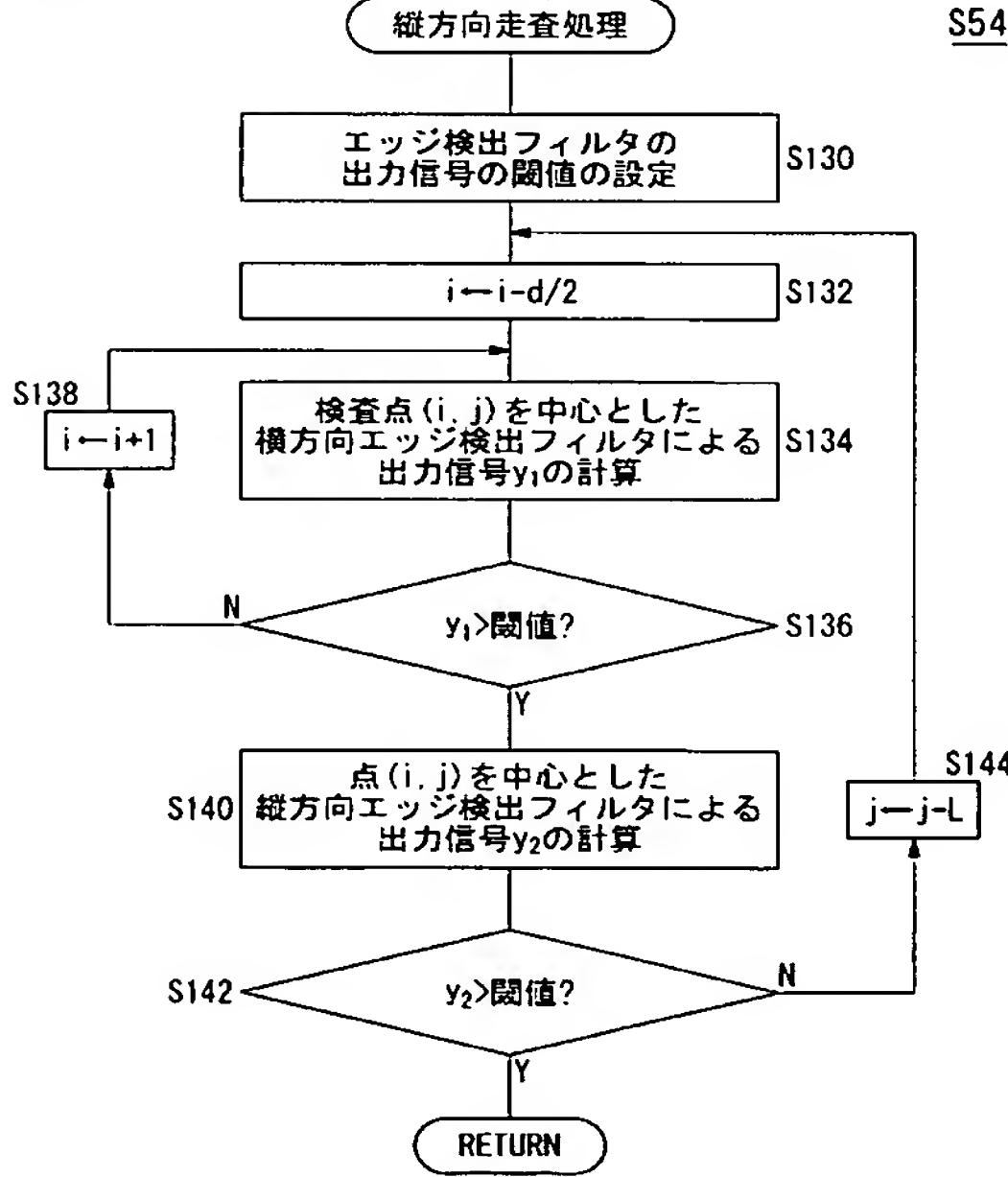
(b)

$$h(i, j) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad x(i, j) = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 255 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

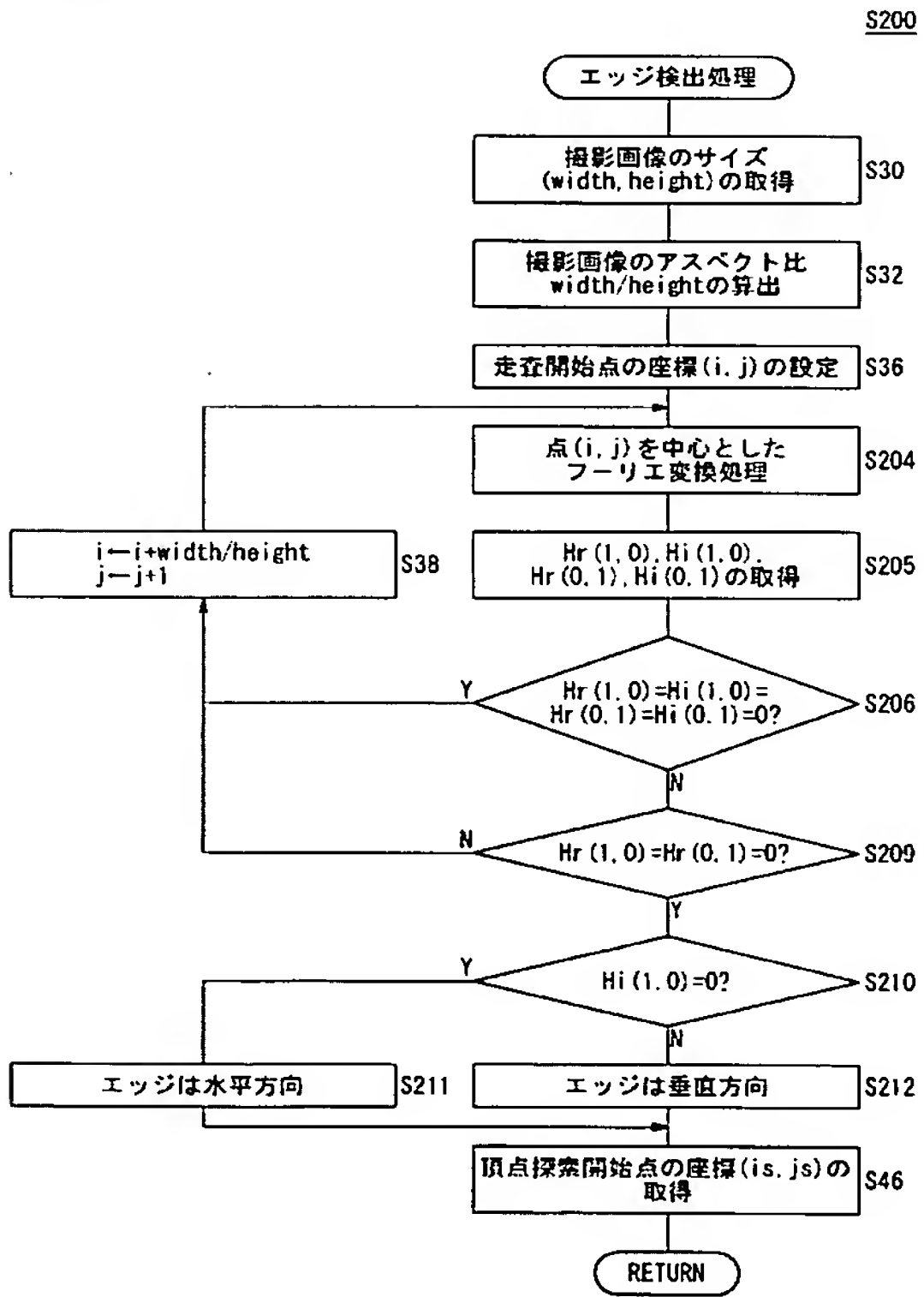
(c)

$$h(i, j) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad x(i, j) = \begin{pmatrix} 255 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 255 & 255 \\ 255 & 255 & 0 & 0 \\ 255 & 255 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

【図 2 3】



【図 2 4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

H 0 4 N 1/387

F I

G 0 6 T 7/60 1 5 0 B

H 0 4 N 1/387

テーマコード (参考)

(72) 発明者 井上 泰彰

大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号 三洋電機株式会社内

F ターム (参考) 5B057 AA11 BA02 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12 CB16 CD12 CG09

DA07 DB02 DB09 DC05 DC17 DC33

5C076 AA14 AA23 BA06

5L096 AA06 BA18 FA06 FA12 FA23 FA69